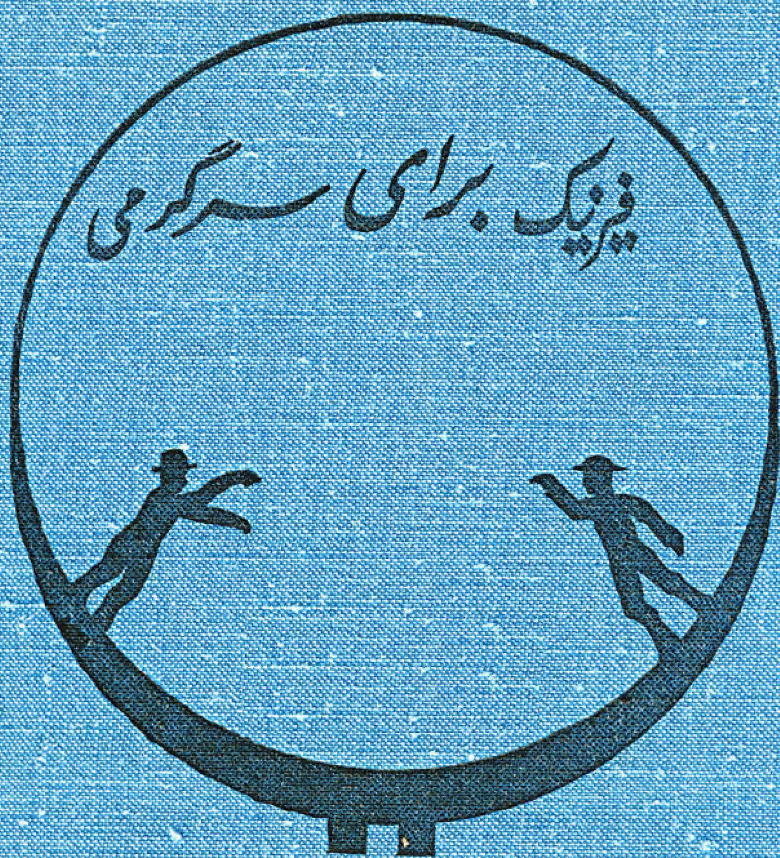
پرلمان

فیزیک برای سرگرمی



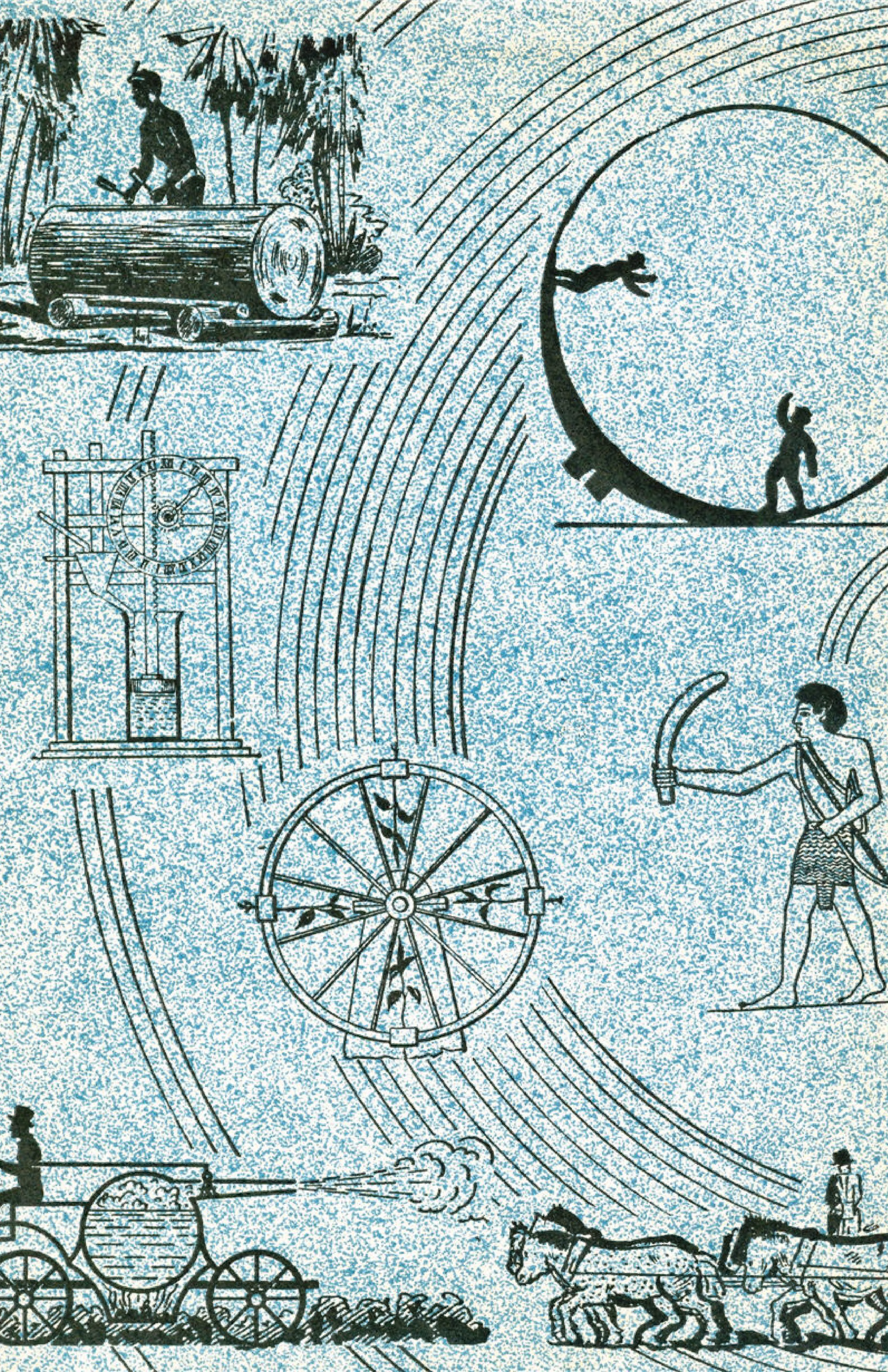
بنگاه نشریات «میر»
مسکو

پرلمان



بنگاه نشریات «میر»
مسکو







بنگاه نشریات «میر»

Я. И. ПЕРЕЛЬМАН

Занимательная физика

КНИГА I

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА

پرلمان

فیزیک برای سرگرمی

بنگاه نشریات «میر»
مسکو

на персидском языке

۱۹۷۷

فهرست

از پیشگفتار مؤلف برای چاپ سیزدهم ۱۰
فصل اول. سرعت. جمع حرکت‌ها ۱۲
ما با چه سرعتی حرکت میکنیم؟ ۱۲
در تعاقب زمان ۱۵
یک هزارم ثانیه ۱۵
ذره‌بین زمان ۱۸
کی ما سریعتر بدور خورشید میگردیم — روز یا شب؟ ۱۸
معمای چرخ گاری ۲۰
کندحرکت‌ترین قسمت چرخ ۲۱
این مسأله شوخی نیست ۲۱
قایق از کجا حرکت کرده است؟ ۲۳
فصل دوم. ثقل و وزن. اهرم. فشار ۲۵
برخیزید! ۲۵
قدم و دو ۲۸
از واگن در حال حرکت چطور باید پرید؟ ۳۰
گرفتن گلوله جنگی با دست در هوا ۳۱
هندوانه — بمب ۳۲
روی کفه قپان فرنگی ۳۴
اجسام کجا سنگین‌تر هستند؟ ۳۵
جسم در حال سقوط چقدر وزن دارد؟ ۳۶
سفر به ماه ۳۸
ژول ورن چطور مسافرت به ماه را توصیف کرده است و این مسافرت چگونه میبایست صورت بگیرد ۳۹
درست وزن کردن با ترازوئی که درست نیست ۴۲
نیرومندتر از خویش ۴۳

چرا اشیاٴ نوک‌تیز بآسانی فرو میروند؟ ٤٤
مانند لویاتان ٤٥
فصل سوم. مقاومت محیط ٤٧
گلوله و هوا ٤٧
تیراندازی با برد فوق‌العاده زیاد ٤٨
چرا بادبادک کاغذی به هوا بلند میشود؟ ٤٩
هواسرهای زنده ٥٠
پرواز بدون موتور برخی از گیاهان ٥١
پرش طولانی چترباز ٥٢
بومرانگ ٥٣
فصل چهارم. چرخش. «محرک‌های دائمی» ٥٥
چگونه میتوان تخم مرغ پخته را از تخم مرغ خام تمیز داد؟ ٥٥
«چرخ خنده» ٥٦
گردبادهای جوهری ٥٧
گیاه فریب خورده ٥٨
«محرک‌های دائمی» ٥٩
«گیر کوچک» ٦١
«نیروی عمده در گلوله‌ها است» ٦٢
آکومولاتور اوفیمتسف ٦٤
«معجزه است و معجزه نیست» ٦٤
باز هم «محرک‌های دائمی» ٦٥
«محرک دائمی» دوران پتر اول ٦٦
فصل پنجم. خصوصیات مایعات و گازها ٧٠
مسأله دو کتری ٧٠
مردمان دوران باستان چه چیز را نمیدانستند ٧٠
مایعات به بالا فشار می‌آورند! ٧١
کدام یک سنگین‌تر است؟ ٧٣
شکل طبیعی مایعات ٧٣
چرا ساچمه گرد است؟ ٧٥
جامی که مانند چاه ویل «هر چه در آن بریزی جا میگیرد» ٧٦
ویژگی جالب و عجیب نفت سفید ٧٧
سکه‌ای که زیر آب نمیرود ٧٨
آب در غربال ٧٩
کف در خدمت تکنیک ٨٠
محرک «دائمی» خیالی ٨١

حباب صابون ۸۳
نازک‌ترین چیز چیست؟ ۸۷
بدون تر کردن انگشت از آب. ۸۷
چطور ما می‌نوشیم؟ ۸۸
قیف خوب ۸۸
یک تن چوب و یک تن آهن ۸۹
آدمی که هیچ وزن ندارد ۸۹
ساعت با کوک «دائمی» ۹۳
فصل ششم. پدیده‌های حرارتی ۹۶
چه وقت راه آهن اکتیابرسکایا درازتر است، تابستان یا زمستان؟ ۹۶
دزدی بدون کیفر ۹۷
ارتفاع برج ایفل ۹۸
از استکان چای تا لوله ترازنما ۹۸
افسانه چکمه در حمام ۱۰۰
چگونه معجزه‌ها صورت میگرفتند ۱۰۱
ساعت بی کوک ۱۰۲
سیگار آموزنده. ۱۰۵
یخی که در آب جوش آب نمیشود. ۱۰۵
روی یخ یا زیر یخ ۱۰۶
چرا از پنجره بسته باد میوزد؟ ۱۰۶
فرفره اسرارآمیز ۱۰۷
آیا پوستین گرم میکند؟ ۱۰۸
چه فصلی از سال زیر پای ماست؟. ۱۰۸
قابلمه کاغذی ۱۰۹
چرا یخ لیز است؟ ۱۱۱
مسأله قندیل یخ ۱۱۲
فصل هفتم. اشعه نور ۱۱٤
سایه‌های گرفته شده. ۱۱٤
جوجه در درون تخم مرغ ۱۱٦
عکس‌های کاریکاتورمانند ۱۱۷
مسأله طلوع خورشید ۱۱۸
فصل هشتم. انعکاس و انکسار نور ۱۲۰
دیدن از پشت دیوار ۱۲۰
سر «بریده‌ای» که سخن میگوید ۱۲۲
در جلو یا در عقب؟. ۱۲۳

آیا میشود آئینه را دید؟ ۱۲۳
وقتی در آئینه نگاه میکنیم، که را می‌بینیم؟ ۱۲۳
نقاشی جلو آئینه ۱۲۴
کوتاه‌ترین و سریع‌ترین راه ۱۲۵
پرواز کلاغ ۱۲۶
دانستنی‌های تازه و کهنه در باره گل‌نما ۱۲۷
کاخ‌های اوهام و سراب ۱۲۹
چرا و چگونه نور منکسر میشود؟ ۱۳۱
چه وقت راه دراز زودتر از راه کوتاه پیموده میشود؟ ۱۳۳
رابینسون‌های تازه ۱۳۶
چطور میشود با یخ آتش روشن کرد؟ ۱۳۸
به کمک اشعهٔ خورشید ۱۴۱
دانستنی‌های کهنه و نو در باره سراب ۱۴۲
«شعاع سبز» ۱۴۵
فصل نهم. دیدن با یک چشم و با دو چشم ۱۴۹
وقتی عکس نبود ۱۴۹
چه چیز را بسیاری از اشخاص بلد نیستند؟ ۱۵۰
هنر تماشا کردن عکس ۱۵۱
عکس را در چه فاصله‌ای باید نگاه داشت؟ ۱۵۱
تأثیر عجیب ذره‌بین ۱۵۲
بزرگ کردن عکس‌ها ۱۵۳
بهترین جا در سینما ۱۵۴
اندرزی به خوانندگان مجلات مصور ۱۵۵
تماشای تابلوها ۱۵۵
استریوسکوپ چیست؟ ۱۵۶
استریوسکوپ طبیعی ما ۱۵۷
با یک چشم و با دو چشم ۱۶۰
طریقه سادهٔ کشف چیزهای جعلی ۱۶۲
دید غولان ۱۶۲
جهان در استریوسکوپ ۱۶۴
دید با سه چشم ۱۶۵
درخشندگی چیست ۱۶۶
دید هنگام حرکت سریع ۱۶۷
از پشت عینک رنگی ۱۶۹
«معجزات سایه‌ها» ۱۶۹

تغییر غیر منتظره رنگ‌ها ۱۷۰
بلندی کتاب ۱۷۱
اندازه ساعت مناره ۱۷۲
سیاه و سفید ۱۷۳
کدام حرف سیاه‌تر است؟ ۱۷۴
تصاویر زنده ۱۷۵
سایر انواع خطای حس باصره ۱۷۶
اشخاص نزدیک‌بین چگونه می‌بینند؟ ۱۷۹
فصل دهم. صوت و شنوائی ۱۸۲
چگونه باید پژواک را جستجو کرد؟ ۱۸۲
صوت بجای نوار اندازه‌گیری ۱۸۵
آئینه‌های صوتی ۱۸۶
اصوات در تالار تاتر ۱۸۷
پژواک از کف دریا ۱۸۸
وزوز حشرات ۱۸۹
خطاهای حس سامعه ۱۹۰
ملخ کجا جیر جیر میکند؟ ۱۹۰
شگفتی‌های حس سامعه ۱۹۲
«معجزات وانتریلوکی» ۱۹۲

خوانندگان گرامی!

بنگاه نشریات «میر» خواهشمند است نظریات خود را در باره این کتاب و ترجمه و چاپ آن و نیز سایر نظریات و پیشنهادهای خود را برای ما بفرستید.

بنگاه نشریات «میر» کتاب‌های علمی و برخی کتاب‌های دیگر را به بسیاری از زبان‌های جهان، از جمله به زبان فارسی، ترجمه و منتشر میکند. شما میتوانید اطلاعات لازم در باره این کتاب‌ها را از راهنماهای کتابی که همه‌ساله از طرف بنگاه ما انتشار می‌یابد، به دست آورید.

خواهشمند است نظریات و پیشنهادهای خود را به نشانی‌های زیر بفرستید

«میر»، پروی ریژسکی ۲، مسکو، اتحاد شوروی

یا «مژکنیگا»، گ — ۲۰۰ مسکو، اتحاد شوروی

اداره بازرگانی خارجی سراسر شوروی «مژدونارودنایا کنیگا» در ایران نیز نمایندگی دارد.

از پیشگفتار مؤلف برای چاپ سیزدهم

مؤلف در این کتاب کمتر به شرح و بیان مطلب تازه پرداخته، بلکه بیشتر کوشیده است به خوانندگان گرامی کمک کند تا «آنچه را که میدانند، بدانند»، یعنی آن مقدار معلومات اساسی و ساده‌ای را که در رشته فیزیک دارند، عمیق‌تر کنند و به آن جان تازه‌ای ببخشند، به آنها بیاموزد و آنها را برانگیزد تا این معلومات را آگاهانه و همه‌جانبه بکار برند. برای نیل به این هدف یک سلسله معماهای گوناگون، مطالب پیچیده و بغرنج، حکایت‌های سرگرم‌کننده، مسائل جالب، پارادکس‌ها و تناقضات، مقایسه‌های غیر منتظره در رشته فیزیک که از پدیده‌های زندگی روزمره بوده یا از صفحات حکایت‌ها و رمان‌های علمی و تخیلی معروف اقتباس گردیده، مورد بررسی قرار گرفته است. مؤلف بر آنستکه مطالب حکایت‌ها و رمان‌های علمی و تخیلی با هدف‌های تدوین کتاب بیشتر توافق دارد و بهمین دلیل اینگونه مطالب را بطور بسیار وسیعی مورد استفاده قرار داده و قطعاتی از رمان‌ها و حکایت‌های ژول ورن، ولس، مارک تواین و دیگر نویسنده‌گان را آورده است. آزمایش‌های تخیلی که در این داستان‌ها توصیف شده، علاوه بر اینکه جالب و فریبنده هستند، میتوانند هنگام تدریس، بعنوان نمونه‌ها و مثال‌های زنده، نقش بزرگی بازی کنند.

مؤلف کوشیده است، در حدود امکان، مطالب فیزیکی را به صورت جالب و فریبا و دلچسبی بیان و توصیف کند. در اینجا آن حقیقت بدیهی روانشناسی ملاک عمل قرار گرفته است که علاقه به موضوع سبب افزایش دقت و سهولت درک مطلب میشود و بنا بر این به فرا گرفتن آگاهانه و عمیق مطالب کمک میکند.

در «فیزیک برای سرگرمی»، برخلاف آنچه در اینگونه کتاب‌ها معمول است، به آزمایش‌های فیزیکی تعجب‌آور - که تأثیرات شدید می‌بخشند، جای بسیار کمی داده شده است. منظور از تدوین این کتاب با کتاب‌هائی که بمنظور آزمایش‌های فیزیکی تدوین میشود، تفاوت دارد. منظور عمده از تدوین کتاب «فیزیک برای سرگرمی» اینستکه فعالیت تصور علمی خوانندگان را برانگیزد، شیوه تفکر با روح علم فیزیک را به آنان بیاموزد و ارتباطات متعدد معلومات فیزیکی را با انواع گوناگون پدیده‌های زندگی روزمره و تمام چیزهائی که معمولا با آن تماس پیدا میکنند، در حافظه خوانندگان بوجود آورد. روشی را که مؤلف کوشیده است در تدوین کتاب بکار ببندد، ولادیمیر ایلیچ لنین بشرح زیر بیان کرده است: «نویسنده‌ای که برای عامه مردم مینویسد، ساده‌ترین مطالب معلوم برای همه را مبداء قرار میدهد، به کمک استدلالات ساده و مثال‌های مناسب از این مطالب به نتایج عمده میرسد، خواننده متفکر را وامیدارد تا در باره مطالب تازه و تازه‌تر بیاندیشد و بدینوسیله خواننده را به فکر عمیق و

آموزش عمیق نزدیک میکند. نویسنده‌ای که برای عامه مردم مینویسد، خواننده‌ای را که فکر نمیکند و نمیخواهد یا نمیتواند فکر کند، در نظر نمیگیرد، برعکس در نظر میگیرد که خواننده کم معلومات قصد جدی دارد مغزش را بکار بیاندازد و به او کمک میکند تا این کار جدی و دشوار را انجام دهد، او را راهنمائی میکند، و به او کمک میکند تا نخستین گام‌ها را بردارد و می‌آموزد تا پس از آن مستقلا به پیش رود.» *

از آنجا که خوانندگان به دانستن تاریخچه این کتاب اظهار علاقه کرده‌اند، شمه‌ای از تاریخچه تدوین آن را به اطلاع آنان میرسانیم.

کتاب «فیزیک برای سرگرمی» نیم قرن پیش تدوین شده و نخستین کتاب از مجموعه آثار مؤلف است که اکنون تعداد آنها به دهها کتاب رسیده است.

بطوری که نامه‌های خوانندگان گواهی میدهد، کتاب «فیزیک برای سرگرمی» سعادت آن را یافته است که در دورافتاده‌ترین نقاط اتحاد شوروی مورد مطالعه قرار گیرد.

پخش وسیع کتاب که گواه بر علاقه وافر توده‌های وسیع به کسب معلومات در رشته فیزیک میباشد، مؤلف را بر مسئولیت خطیری که در بهبود مطالب کتاب بر عهده دارد، آگاه میسازد. درک این مسئولیت مؤلف را بر آن داشته است تا در چاپ‌های مکرر «فیزیک برای سرگرمی» در متن کتاب تغییرات زیادی بدهد و آن‌را تکمیل کند. میتوان گفت که این کتاب در تمام طول ۲۰ سال وجود آن نوشته میشده است. در آخرین چاپ از متن چاپ اول فقط نیمی باقی مانده و از مثال‌ها و تصویرها تقریباً هیچ چیز باقی نمانده است.

برخی از خوانندگان به مؤلف مراجعه و خواهش کرده‌اند که از تجدید نظر و حک و اصلاح متن صرف نظر کند تا آنها مجبور نشوند «برای ده دوازده صفحه تازه، هر چاپ مجدد کتاب‌را بخرند». اینگونه نظرها بهیچوجه مؤلف‌را از موظف بودن به بهبود همه‌جانبهٔ کتاب آزاد نمیکند. «فیزیک برای سرگرمی» یک کتاب ادبی نیست، بلکه کتابی است علمی، البته به زبان ساده و عامه‌فهم. حتی اصول اولیهٔ علم مورد بحث در این کتاب، یعنی فیزیک، بطور مداوم با مطالب تازه غنی میگردد و باید این مطالب را بطور متناوب در کتاب گنجاند.

از سوی دیگر، اغلب مؤلف را مورد سرزنش قرار میدهند که موضوعهائی از قبیل تازه‌ترین دست‌آوردهای رادیوتکنیک، شکافتن هستهٔ اتم، تئوری‌های معاصر فیزیک و امثال آن را در کتاب نمی‌گنجاند. اینگونه سرزنش‌ها نتیجهٔ سوءٔ تفاهم است. کتاب «فیزیک برای سرگرمی» به منظور کاملا معینی تدوین شده است. طرح و بررسی اینگونه مسائل وظیفهٔ تألیفات دیگر است.

علاوه بر کتاب دوم «فیزیک برای سرگرمی» چند کتاب دیگر مؤلف به «فیزیک برای سرگرمی» مربوط و نزدیک است. یکی از این کتاب‌ها بنام «فیزیک در هر گام» برای خوانندگانی در نظر گرفته شده است که آمادگی نسبتاً کمی دارند و هنوز به آموزش مستقلانه فیزیک نپرداخته‌اند. دو کتاب دیگر، برعکس، برای کسانی در نظر گرفته شده است که آموزش برنامه فیزیک دوره دبیرستان را به پایان رسانیده باشند. این دو کتاب عبارتند از: «مکانیک برای سرگرمی» و «آیا فیزیک میدانید؟». کتاب «آیا فیزیک میدانید؟» در واقع، مکمل و پایان «فیزیک برای سرگرمی» است.

سال ۱۹۳۶.　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　پرلمان

---

* و. ای. لنین، مجموعه آثار، چاپ ٤، جلد ٥، صفحه ۲۸۵ (روسی).

فصل اول

سرعت. جمع حرکت‌ها

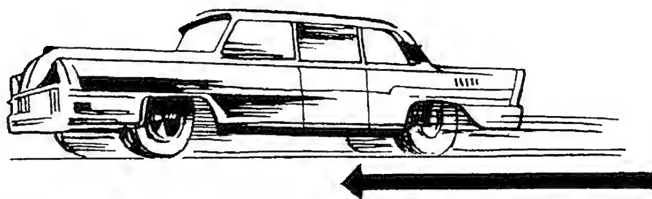
ما با چه سرعتی حرکت میکنیم؟

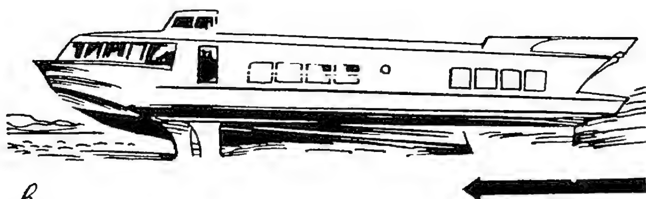
یک دونده خوب مسافت ۱/۵ کیلومتر را تقریباً در ۳ دقیقه و ۵۰ ثانیه میدود (رکورد جهانی در سال ۱۹۵۸ معادل ۳ دقیقه و ۳٦/۸ ثانیه بود). برای مقایسه با سرعت معمولی یک نفر پیاده — ۱/۵ متر در ثانیه — باید محاسبه کوچکی کرد، آنوقت معلوم میشود که ورزشکار در هر ثانیه ۷ متر میدود. اما این دو سرعت کاملا با هم قابل مقایسه نیستند، زیرا پیاده میتواند ساعت‌های متوالی حرکت کند و ساعتی ۵ کیلومتر بپیماید، در صورتیکه ورزشکار فقط مدت کمی قادر است سرعت نسبتاً زیاد دو خود را حفظ کند. یک واحد پیاده نظام در هر ثانیه ۲ متر یا در هر ساعت ۷ کیلومتر و اندی، یعنی با سرعت سه بار کمتر از سرعت قهرمان دو، میدود. اما واحد پیاده نظام بر ورزشکار آن برتری‌را دارد که میتواند مسافت‌های بمراتب بیشتری را بپیماید.

مقایسه راه رفتن معمولی انسان با سرعت جانورانی از قبیل حلزون و لاک‌پشت که در کندحرکت بودن ضرب‌المثل شده‌اند، جالب است. حلزون در هر ثانیه ۱/۵ میلیمتر یا در هر ساعت ۵/٤ متر می‌پیماید، یعنی درست هزار بار آهسته‌تر از انسان حرکت میکند. این امر نشان میدهد که شهرتش در کند حرکت بودن کاملا بجا و بحق است. لاک پشت هم که در کندحرکت بودن شهرت بسزائی دارد، از حلزون چندان سریعتر حرکت نمیکند — سرعت حرکت معمولی لاک‌پشت ۷۰ متر در ساعت است.

اگر حرکت انسان را با سایر حرکت‌های محیط خود، حتی با حرکت‌هائی که سرعت چندان زیادی هم ندارند، مقایسه کنیم، آنوقت انسان که در مقایسه با حلزون و لاک‌پشت چابک و تیزپا بود، بوضع دیگری در برابر ما عرض اندام میکند. البته، انسان از جریان آب بیشتر رودخانه‌های جلگه‌ای جلو می‌افتد و از بادهای نسبتاً ملایم چندان عقب نمیماند. اما انسان فقط با اسکی میتواند با مگس که در هر ثانیه ۵ متر پرواز میکند، موفقانه مسابقه بدهد. از خرگوش و از سگ شکاری حتی سوار بر اسب و بتاخت هم نمیتواند جلو بزند. انسان فقط با هواپیما میتواند در سرعت با عقاب مسابقهٔ بدهد.

ماشین‌هائی که بشر اختراع کرده به وی امکان داده است تا تندروترین موجود روی زمین باشد.





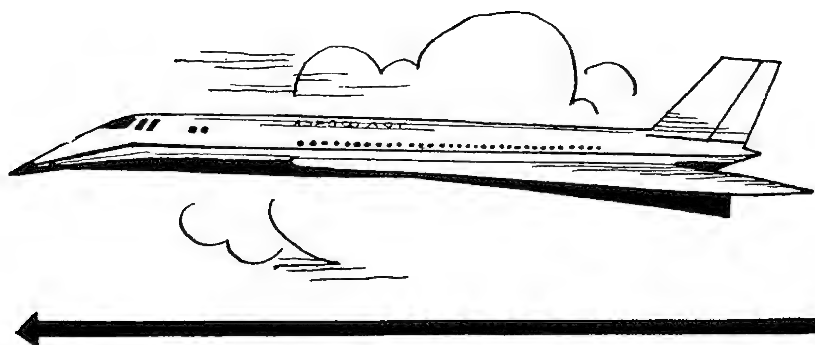
شکل ۱، a — اتومبیل «چایکا»، b — کشتی دیزل با بالهای زیرآبی

چندی پیش در اتحاد شوروی کشتی دیزل با بالهای زیرآبی ساخته شد که سرعت آن به ۶۰ تا ۷۰ کیلومتر در ساعت میرسد. انسان در خشکی سریعتر از آب میتواند حرکت کند. سرعت قطارهای مسافری به ۲۰۰ کیلومتر در ساعت میرسد. اتومبیل‌های سواری میتوانند با سرعت تا ۱۷۰ کیلومتر در ساعت حرکت کنند.

سرعت هواپیماهای معاصر بمراتب بیش از اینهاست. در بسیاری از خطوط هواپیمائی کشوری اتحاد شوروی هواپیماهای با ظرفیت زیاد «تو ۱۰۴»، «تو ۱۱۴»، «تو ۱۳۴»، «تو ۱۴۴» و «تو ۱۵۴» کار میکنند (شکل ۲). سرعت متوسط این هواپیماها در حدود ۸۰۰ تا ۹۰۰ کیلومتر در ساعت میباشد. تا چندی پیش در برابر طراحان هواپیما و مهندسین هواپیماسازی مسأله عبور از «حائل صوت» یعنی گذشتن از سرعت صوت (۳۳۰ متر در ثانیه یا ۱۲۰۰ کیلومتر در ساعت) قرار داشت. اکنون این مسأله حل شده است. سرعت هواپیماهای جت کوچک با موتور قوی به ۳۰۰۰ کیلومتر در ساعت میرسد.

دستگاه‌هائی که بوسیله انسان ساخته شده میتوانند با سرعت بیش از این نیز حرکت کنند. سرعت ماهواره‌هائی که در نزدیک قشرهای متراکم جو پرواز میکنند، در حدود ۸ کیلومتر در ثانیه است. سرعت اولیه دستگاههای فضائی که به سوی سیاره‌های منظومه شمسی پرتاب میشوند، از دومین سرعت کیهانی بیشتر است (در نزدیک زمین ۱۱/۲ کیلومتر در ثانیه).

خوانندگان گرامی میتوانند جدول سرعت‌ها را که در زیر بچاپ رسیده از نظر بگذرانند:



شکل ۲ — هواپیمای جت مسافری « تو ١٤٤ »

حلزون	۱/۵ میلی‌متر در ثانیه	٥/٤ متر در ساعت
لاک‌پشت	۲۰ میلیمتر در ثانیه	۷۰ » »
ماهی	۱ متر در ثانیه	۳/٦ کیلومتر در ساعت
پیاده	۱/٤ » »	۵ » »
اسب سوار — قدم	۱/۷ » »	٦ » »
» یورتمه	۳/۵ » »	۱۲/٦ » »
مگس	۵ » »	۱۸ » »
اسکی‌باز	۵ » »	۱۸ » »
اسب سوار — چهار نعل . . .	۸/۵ » »	۳۰ » »
کشتی دیزل با بالهای زیر آبی .	۱٦ » »	۵۸ » »
خرگوش	۱۸ » »	٦۵ » »
عقاب	۲٤ » »	۸٦ » »
سگ شکاری	۲۵ » »	۹۰ » »
قطار راه آهن	۲۸ » »	۱۰۰ » »
اتوبیل « زیل ۱۱۱ »	۵۰ » »	۱۷۰ » »
اتوبیل کورسی (رکورد) . .	۱۷٤ » »	٦۳۳ » »
هواپیمای « تو ۱۰٤ »	۲۲۰ » »	۸۰۰ » »
صوت در هوا	۳۳۰ » »	۱۲۰۰ » »
هواپیمای جت سبک	۸۵۰ » »	۳۰۰۰ » »
زمین در مدار خود	۳۰۰۰۰ » »	۱۰۸۰۰۰ » »

در تعاقب زمان

آیا میشود ساعت هشت صبح با هواپیما از «ولادی وستوک» پرواز کرد و ساعت هشت صبح همان روز به مسکو رسید؟ این سئوال بهیچوجه بیمعنی نیست. بله، میشود. برای درک مفهوم این جواب فقط باید بیاد آورد که تفاوت زمانی میان منطقه ولادی‌وستوک و منطقه مسکو ۹ ساعت است. اگر هواپیما بتواند مسافت میان ولادی‌وستوک و مسکو را در این مدت بپیماید، آنوقت در همان ساعتی که از ولادی‌وستوک پرواز کرده است، به مسکو میرسد.

فاصله میان ولادی‌وستوک و مسکو تقریباً ۹۰۰۰ کیلومتر است. بنا بر این سرعت هواپیما باید معادل $\frac{۹۰۰۰}{۹} = ۱۰۰۰$ کیلومتر درساعت باشد. این سرعت در شرایط کنونی کاملا امکان‌پذیر است.

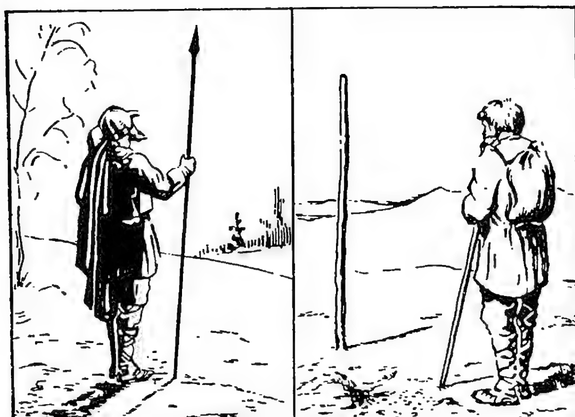
برای «جلو افتادن از خورشید» (یا دقیقتر، از زمین) در مدارهای نواحی قطبی سرعت بمراتب کمتری لازم است. در مدار ۷۷ درجه عرض شمالی (ارض جدید) هواپیما با سرعت ٤٥٠ کیلومتر در ساعت، در زمان معین، میتواند همان مسافتی را بپیماید که یک نقطه روی زمین در همان زمان به دور محور آن میچرخد. برای سرنشین چنین هواپیمائی خورشید از حرکت باز می‌ایستد و در آسمان بیحرکت معلق میماند و به افق باختر نزدیک نمیشود (البته هواپیما باید درسمت مناسب پرواز کند).

«جلو افتادن از ماه» در حرکتش به دور زمین از اینهم آسانتر است. سرعت حرکت ماه به دور زمین تقریباً ۲۹ بار کمتر از سرعت حرکت زمین به دور محور خود میباشد (در اینجا، البته سرعت‌های زاویه‌ای با هم مقایسه میشوند، نه سرعت‌های خطی). بنا بر این یک کشتی معمولی با سرعت ۲۵ — ۳۰ کیلومتر در ساعت میتواند در عرض‌های جغرافیائی متوسط از ماه «جلو بزند».

مارک تواین در یادداشت‌های خود «ساده‌لوحان در خارجه» این پدیده را یاد آور میشود: هنگام عبور ما از اقیانوس اطلس از نیویورک به جزایر آزورس «هوای تابستانی بسیار خوبی بود و شب‌ها حتی از روزها هم بهتر بود. ما ناظر پدیده عجیبی بودیم: ماه هر شب در یک ساعت معین و در نقطه معینی از آسمان طلوع میکرد. علت این روش عجیب و بیسابقه ماه در ابتدا برای ما اسرار آمیز بود، اما بعد پی بردیم که مطلب از چه قرار است: ما در هر ساعت معادل ۲۰ درجه طول جغرافیائی به طرف خاور حرکت میکردیم، یعنی درست با همان سرعتی که از ماه عقب نمانیم».

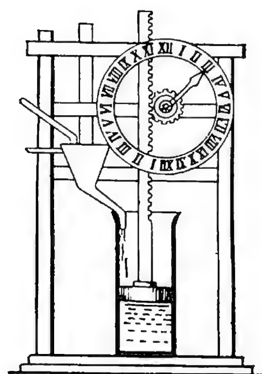
یک هزارم ثانیه

برای ما که عادت کرده‌ایم زمان را با مقیاس انسانی خود اندازه بگیریم، یک هزارم ثانیه مساوی صفر است. فقط از چندی پیش در کارهای ما با اینگونه فاصله‌های زمانی برخورد میشود. هنگامی که وقت را از روی بالا آمدن خورشید یا از روی درازی سایه تعیین میکردند، حتی از وقت تا حدود یک دقیقه نیز نمیتوانست صحبتی باشد (ش ۳). آدم‌ها دقیقه را مدت زمانی ناچیزتر از آن میدانستند که ارزش اندازه گرفتن را داشته باشد. انسانهای باستانی چنان زندگی آرام و بی‌عجله‌ای داشتند که در ساعت‌های آنها — ساعت‌های آفتابی، ساعت‌های آبی و ساعت‌های شنی — حتی تقسیمات خاصی برای دقیقه وجود نداشت (شکل ٤ و ٥). فقط از اوایل قرن ۱۸ میلادی روی صفحهٔ ساعت‌ها عقربهٔ دقیقه شمار پیدا شد. از اوایل قرن ۱۹ عقربهٔ ثانیه شمار نیز پیدا شد.

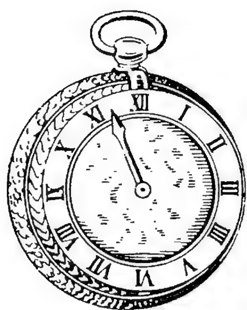


شکل ۳ — تعیین وقت از روی محل خورشید (سمت چپ) و از روی سایه (سمت راست) .

در یک هزارم ثانیه چه میتواند رخ بدهد؟ خیلی چیزها! قطار در این مدت البته فقط در حدود ۳ سانتیمتر تغییر مکان میدهد، اما صوت ۳۳ سانتیمتر و هواپیما تقریباً نیم متر. زمین در یک هزارم ثانیه در مدار خود به دور خورشید ۳۰ متر و نور در همین مدت ۳۰۰ کیلومتر می‌پیماید.
موجودات کوچکی که مارا احاطه کرده‌اند اگر میتوانستند قضاوت کنند، لابد، یک هزارم ثانیه را مدت ناچیزی نمیشمردند. مثلا برای حشرات این مدت زمان قابل حس است. پشه طی یک ثانیه ۵۰۰ تا ۶۰۰ بار بال میزند، یعنی در یک هزارم ثانیه میتواند بالهایش را بالا ببرد یا پایین بیاورد. انسان قادر نیست اعضای بدن خود را مانند حشرات بسرعت حرکت دهد. سریعترین حرکتی که ما میکنیم بر هم



شکل ٤ — ساعت آبی که در دوران باستان بکار میرفت.



شکل ٥ — ساعت جیبی قدیمی .

زدن چشم یا «چشم بهم زدن» یا لحظه است. این حرکت بقدری سریع صورت میگیرد که ما حتی متوجه تاریک شدن دایره دید خود نمیشویم. اما عده کمی میدانند که اگر «یک چشم بهم زدن» را که مترادف زمان فوق‌العاده کمی است با واحد یک هزارم ثانیه اندازه بگیریم، آنوقت این حرکت در واقع بحد کافی آهسته صورت میگیرد. بطوری که با اندازه گیریهای دقیق معلوم شده است، «یک چشم بهم زدن» کامل بطور متوسط طی $\frac{۲}{۵}$ ثانیه یا ۴۰۰ هزارم ثانیه صورت میگیرد. این جریان به مراحل زیر تقسیم میشود: پایین آوردن پلک (۷۵ تا ۹۰ هزارم ثانیه)، حالت بیحرکتی پلک پایین آورده شده (۱۳۰ تا ۱۷۰ هزارم ثانیه) و بالاخره بالا بردن پلک (در حدود ۱۷۰ هزارم ثانیه). بطوریکه مشاهده میکنید، «یک چشم بهم زدن» بمعنای واقعی کلمه، مدت نسبتاً قابل ملاحظه‌ای است که طی آن پلک چشم حتی فرصت کمی استراحت نیز پیدا میکند. اگر ما میتوانستیم تأثیراتی را که یک هزارم ثانیه طول میکشد، بطور مجزا حس کنیم، آنوقت در «یک چشم بهم زدن» دو حرکت آرام و یکنواخت پلک چشم را که با یک مدت بیحرکت ماندن پلک از هم جدا میشوند، درک میکردیم.

چنانچه ساختمان سلسله اعصاب ما چنین میبود، جهانی‌را که ما را احاطه کرده است، با دگرگونی غیر قابل شناختی میدیدیم. توصیف مناظر عجیبی را که در آنصورت در برابر دیدگان ما نمودار میشد ولس نویسنده انگلیسی در حکایت «تازه‌ترین تسریع کننده» داده است. قهرمانان حکایت شربت شگفت‌آوری نوشیده بودند که در سلسله اعصاب چنان تأثیر می‌بخشید که جهاز حس ما را مستعد درک مراحل جداگانه حرکت‌های سریع میکرد.

اینک چند جمله از آن حکایت برای مثال در زیر نقل میشود:

«— آیا تا کنون هرگز دیده‌اید که پرده اینجور به پنجره زده شده باشد؟

من به پرده نگاه کردم و دیدم که گوئی پرده خشک شده و گوشه‌اش را که باد بالا زده بود، همانطور مانده است، و گفتم:

— هرگز ندیده‌ام. چیز عجیبی است!

او انگشتانش را که استکان را گرفته بود، از هم باز کرد و گفت:

— این را چطور؟

من منتظر بودم که استکان بیفتد و بشکند، اما استکان حتی تکان هم نخورد، بیحرکت در هوا معلق ماند.

ژیبرن گفت:

— شما، البته، میدانید که جسم وقتی سقوط میکند، در ثانیه اول ۵ متر پائین می‌آید. استکان هم حالا این ۵ متر را میپیماید، اما شما متوجه هستید که هنوز حتی یک صدم ثانیه هم نگذشته است*. این امر میتواند در شما تصوری از قدرت تأثیر «شربت تسریع کننده» من بوجود آورد.

استکان آهسته سقوط میکرد. ژیبرن دستش را به دور استکان و در بالا و زیر آن چرخاند...

من از پنجره به بیرون نگاه کردم. یک دوچرخه‌سوار و پشت سرش توده‌ای از گرد و خاک بیحرکت ایستاده بود و داشت به گاری که آنهم حتی یک اینچ حرکت نمیکرد، میرسید.

---

* — بعلاوه باید در نظر داشت که جسم در حال سقوط در نخستین یک‌صدم ثانیه نه یک صدم ۵ متر بلکه (طبق فرمول $S=\frac{gt^2}{2}$) یک‌ده هزارم آن مسافت یعنی نیم میلیمتر و در نخستین یک هزارم ثانیه فقط $\frac{۱}{۲۰۰}$ میلیمتر را می‌پیماید.

... کالسکه‌ای که کوچکترین تکانی نمیخورد، توجه مارا جلب کرد. قسمت بالائی چرخ ها، پاهای اسب، نوک شلاق و فک پائین درشکه‌چی (او در همان لحظه شروع به دهن‌دره کرده بود) — همه اینها، گرچه آهسته، اما در هر صورت حرکت میکردند. بقیه چیزهائی که در این کالسکه بیقواره وجود داشت، کوچکترین حرکتی نمیکردند. آدم‌هائی که در آن نشسته بودند، درست مانند مجسمه بودند.

... یک نفر درست در همان لحظه‌ای که کوشش های مافوق قدرت بشری بکار میبرد تا روزنامه‌ای را جلو باد تا کند، بیحرکت خشکش زده بود. اما آن باد برای ما وجود نداشت.

... تمام آنچه من از لحظهٔ دخول «شربت تسریع کننده» به بدنم اندیشیده و گفته و کرده بودم، برای همهٔ اشخاص دیکر و برای سراسر جهان فقط یک چشم بهم زدن بود».

لابد برای خوانندگان جالب است بدانند حد اقل مدت زمانی را که میتوان با وسائل علمی معاصر اندازه گرفت، چقدر است؟ در اوایل قرن بیستم میلادی این مدت زمان معادل یک ده هزارم ثانیه بود. اما اکنون فزیسین ها قادرند در آزمایشگاه‌های خود یک صد میلیاردم ثانیه‌را اندازه بگیرند. این مدت زمان تقریباً به همان اندازه که یک ثانیه از ۳۰۰۰ سال کمتر است، از یک ثانیه تمام کمتر میباشد.

ذره‌بین زمان

وقتی ولس کتاب «تازه‌ترین تسریع کننده» خویش را مینوشت، باحتمال نزدیک بیقین فکر نمیکرد که زمانی چیزی شبیه به آن واقعاً عملی شود. اما ولس زنده ماند و آن زمان را دید. او مناظری را که زمانی نیروی تخیلش تصویر کرده بود، با چشم خود — البته فقط روی پرده سینما — میتوانست مشاهده کند. دستگاهی که «ذره‌بین زمان» نامیده میشود، بسیاری از پدیده‌هائی را که معمولا خیلی سریع روی میدهند، با سرعت کم روی پرده سینما نشان میدهد.

«ذره‌بین زمان» دستگاه فیلمبرداری است که مانند دستگاه‌های فیلمبرداری معمولی در هر ثانیه ۲٤ عکس برنمیدارد، بلکه بمراتب بیشتر از آن برمیدارد. اگر پدیده‌ای را که باین ترتیب فیلمبرداری شده است، با سرعت معمولی ۲٤ کادر در ثانیه روی پرده سینما بیاوریم، آنوقت بینندگان پدیده را از لحاظ زمانی کشیده و ممتد یعنی بهمان اندازه که سریعتر فیلمبرداری شده، آهسته‌تر از جریان معمولی آن خواهند دید. لابد خوانندگان اینگونه پرش های آهسته غیر طبیعی و سایر پدیده‌های مصنوعاً کند شده را روی پرده سینما یا صفحه تلویزیون دیده‌اند. بکمک دستگاههای مرکب‌تری از نوع همین دستگاهها میتوان جریان پدیده را بمراتب بیش از این کند کرد و تقریباً همان چیزی را که در حکایت ولس تصویر شده، نشان داد.

کی ما سریعتر بدور خورشید میگردیم — روز یا شب؟

یک بار در روزنامه‌های پاریس اعلانی منتشر شد که در آن وعده داده شده بود به هر کس در برابر پرداخت ۲۰ سانتیم وسیله مسافرت ارزان و در عین حال بدون ذره‌ای خستگی را نشان بدهند. اشخاص زودباوری پیدا شدند که آن ۲۰ سانتیم را فرستادند. هر یک از آنها در جواب، نامه‌ای بمضمون زیر با پست دریافت کرد:

« همشهری، آرام و راحت روی تختخوابتان بمانید و بخاطر بیاورید که زمین ما میگردد. در مدار پاریس — ۴۹ درجه — شما هر شبانه‌روز بیش از ۲۵۰۰۰ کیلومتر می‌پیمائید. اگر مناظر زیبا را دوست دارید، پرده پنجره را بالا بزنید و از تماشای منظره آسمان پرستاره لذت ببرید ».

مسبب این شیرینکاری بجرم کلاهبرداری به دادگاه جلب و به پرداخت جریمه محکوم شد. او پس از استماع رأی دادگاه و پرداخت جریمه، برخاست، قیافه آرتیستی بخود گرفت و با صدای رسا سخنان معروف گالیله را تکرار کرد:

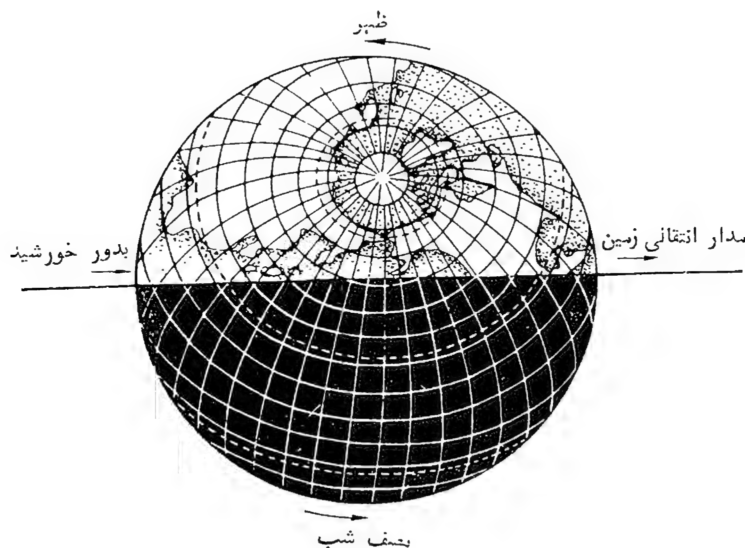
— با همه اینها، زمین میگردد...

آن متهم از جهتی حق داشت، زیرا هر یک از ساکنان کره زمین نه فقط ضمن چرخش زمین به دور محور خود « مسافرت میکند » بلکه زمین در گردش به دور خورشید نیز او را با سرعت باز هم بیشتری با خود میبرد. سیاره ما با تمام ساکنانش در هر ثانیه ۳۰ کیلومتر در فضا نقل مکان میکند و در عین حال به دور محور خود هم میچرخد.

باین مناسبت میتوان سئوال جالبی مطرح کرد: کی ما سریعتر به دور خورشید میگردیم — روز یا شب؟

این سئوال ممکن است باعث تعجب بشود، زیرا همیشه در یک طرف زمین روز و در طرف دیگر شب است. پس سئوال ما چه معنی دارد؟ ظاهراً بیمعنی است.

اما اینطور نیست. زیرا سئوال نمیشود که کی تمام کره زمین سریعتر تغییر مکان میدهد، بلکه سئوال میشود که کی ما ساکنان کره زمین سریعتر در میان ستارگان حرکت میکنیم. و این سئوال بهیچوجه بیمعنی نیست.



شکل ۶ — در نیمی از کره زمین که شب است مردم سریعتر از نیمی که روز است به دور خورشید میگردند.

ما در منظومهٔ شمسی دو حرکت میکنیم: به دور خورشید میگردیم و در عین‌حال به دور محور زمین میچرخیم. این دو حرکت باهم ترکیب میشوند، اما نتیجه‌ای که بدست می‌آید، بسته باینکه ما در نیمهٔ روز یا نیمهٔ شب زمین باشیم، متفاوت است. با یک نگاه به شکل ۶ پی میبرید که نصف شب سرعت چرخش زمین بدور محورش بر سرعت گردش زمین بدور خورشید افزوده میشود، و ظهر بر عکس از آن کم میشود. بنا بر این ما نصف شب سریعتر از ظهر در منظومه شمسی حرکت میکنیم.

از آنجا که نقاط اطراف خط استوا در هر ثانیه در حدود نیم کیلومتر حرکت میکنند، تفاوت میان سرعت ظهر و سرعت شب در حدود یک کیلومتر است. کسانی که هندسه میدانند به آسانی میتوانند حساب کنند که برای لنینگراد (که در مدار ۶۰ درجه واقع است) این تفاوت دو بار کمتر است. اهالی لنینگراد نصف شب هر ثانیه به اندازه نیم کیلومتر بیشتر از ظهر در منظومه شمسی حرکت میکنند*.

معمای چرخ گاری

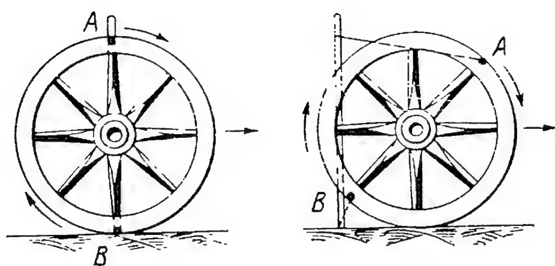
یک تکه کاغذ رنگی از پهلو به چنبر چرخ گاری (یا به لاستیک روئی دوچرخه) بچسبانید و وقتی گاری (یا دوچرخه) حرکت میکند به کاغذ نگاه کنید. پدیده عجیبی خواهید دید: وقتی کاغذ در قسمت پائین چرخ متحرک قرار دارد خیلی واضح و خوب دیده میشود، اما وقتی در قسمت بالای چرخ قرار میگیرد با چنان سرعتی حرکت میکند که شما حتی نمیتوانید آن را ببینید.

چنین برمی‌آید که گویا قسمت بالائی چرخ از قسمت پائینی آن سریعتر حرکت میکند. اگر پره‌های بالائی و پائینی چرخ یک گاری در حال حرکت را باهم مقایسه کنیم، همین پدیده را مشاهده خواهیم کرد. دیده میشود که پره‌های بالائی بهم چسبیده و بصورت واحد یکپارچه‌ای درآمده‌اند، در صورتیکه پره‌های پائینی را جدا از یکدیگر می‌بینیم. باز هم پدیده طوری صورت میگیرد که گویا قسمت بالائی چرخ از قسمت پائینی آن سریعتر حرکت میکند.

این معما را چگونه باید حل کرد و علت این پدیده عجیب را چطور باید توضیح داد؟ خیلی ساده. قسمت بالائی چرخ یک گاری در حال حرکت واقعاً از قسمت پائینی آن سریعتر حرکت میکند. این واقعیت در نظر اول باورنکردنی بنظر می آید، در صورتیکه با کمی تفکر میتوان به صحت آن معتقد شد. زیرا هر نقطه چرخ یک گاری در حال حرکت در آن واحد دو حرکت انجام میدهد: به دور محور میچرخد و در عین حال با محور بپیش میرود. همانطور که در مبحث حرکت کره زمین دیدیم این دو حرکت با هم ترکیب میشوند و نتیجهٔ ترکیب برای قسمت بالائی و قسمت پائینی چرخ متفاوت است. در قسمت بالائی، حرکت دورانی چرخ با حرکت انتقالی آن جمع میشود، زیرا هر دو حرکت به یک سمت است. اما در پائین حرکت دورانی در جهت عکس حرکت انتقالی صورت میگیرد و در نتیجه از آن تفریق میشود. باین دلیل استکه قسمت‌های بالائی چرخ از قسمت‌های پائینی آن نسبت به یک ناظر ساکن سریعتر حرکت میکند.

---

*— برای تهران که در مدار ۳۰ درجه قرار دارد، این تفاوت در حدود ۸۰۰ متر است، یعنی اهالی تهران نصف شب هر ثانیه باندازه ۸۰۰ متر بیشتر از ظهر در منظومه شمسی حرکت میکنند. (مترجم).



شکل ۷ — برای اینکه یقین حاصل کنید که قسمت بالائی چرخ از قسمت پائینی آن سریعتر حرکت میکند، فاصله نقطه A و نقطه B چرخی را که بجلو غلتیده است (شکل سمت راست) از چوب بیحرکت باهم مقایسه کنید.

با یک آزمایش ساده میتوان فهمید که واقعاً چنین است. در یک فرصت مناسب چوبی‌را پهلوی چرخ گاری ایستاده به زمین فرو کنید — بطوریکه چوب در برابر محور چرخ قرار گیرد. در بالاترین و پائین‌ترین نقطه چنبر چرخ با گچ یا با زغال دو علامت بگذارید، این دو علامت درست در برابر چوب خواهد بود. بعد گاری را کمی بطرف راست بغلتانید (ش ۷) تا محور باندازه ۲۰ — ۳۰ سانتیمتر از چوب دور شود و ببینید علامت‌هائی که گذاشته‌اید چطور تغییر مکان داده‌اند. معلوم میشود که علامت بالائی (A) بمیزان قابل ملاحظه‌ای بیش از علامت پائینی (B) تغییر مکان داده، و نقطه (B) فقط کمی از چوب دور شده است.

کندحرکت‌ترین قسمت چرخ

بدین ترتیب، همهٔ نقطه‌های چرخ گاری در حال حرکت با سرعت مساوی تغییر مکان نمیدهد. کدام نقطه چرخ گاری در حال حرکت کندتر از سایر نقاط آن حرکت میکند؟

به آسانی میتوان فهمید که نقاطی از چرخ که در لحظهٔ معین با زمین تماس دارند، از همهٔ نقاط دیگر آن کندتر حرکت میکنند. اگر دقیقتر بگوئیم، این نقاط در لحظهٔ تماس با زمین کاملا بیحرکت هستند.

تمام آنچه گفته شد فقط در باره چرخی که روی زمین میغلتد صادق است، نه در باره چرخی که بدون تغییر مکان بدور محور خود میچرخد. مثلا در چرخ طیار نقاط پائینی و بالائی دورهٔ چرخ با سرعت یکسانی حرکت میکنند.

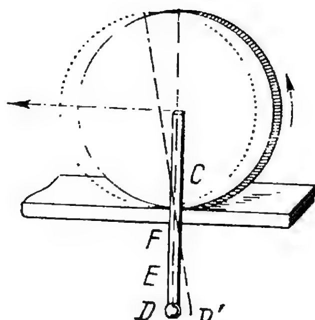
این مسأله شوخی نیست

حالا یک مسأله جالب‌تر مطرح میکنیم: آیا در قطاری که مثلا از لنینگراد به مسکو میرود، نقاطی هست که نسبت به خط راه‌آهن برعکس، یعنی از مسکو به لنینگراد حرکت کنند؟

معلوم میشود که در هر لحظه در هر یک از چرخ‌ها چنین نقاطی هست. پس این نقاط در کجا قرار دارند؟

البته شما میدانید که چرخ قطار راه‌آهن لبهٔ برآمده‌ای دارد. معلوم میشود نقاط پائینی این لبهٔ برآمده، ضمن حرکت قطار نه بجلو، بلکه به عقب تغییر مکان میدهند. با آزمایش زیر به آسانی میتوان یقین حاصل کرد که این مطلب صحیح است.

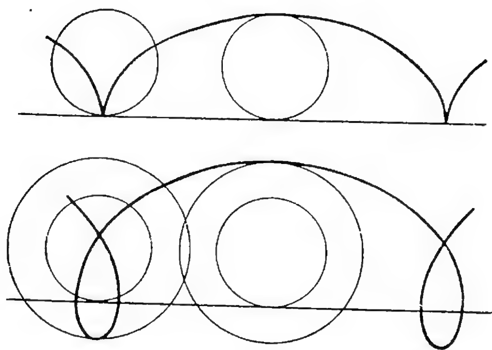
به دایرهٔ کوچکی، مثلا به یک سکه یا یک دکمه، با موم یک چوب کبریت بچسبانید، بطوری که در امتداد شعاع دایره قرار گیرد و قسمت زیادی از آن از کنارهٔ دایره بیرون آمده باشد. حالا اگر این دایره را (ش ۸) در نقطه C روی لبهٔ خط کش بگذارید و آن را از راست بچپ بغلتانید، نقطه‌های F، E، D واقع در آن قسمت از چوب‌کبریت که خارج از دایره است، نه بجلو، بلکه بعقب حرکت خواهند کرد. هر چه نقطه از کنارهٔ دایره دورتر باشد، ضمن غلتاندن دایره، بطور محسوس‌تری به عقب میرود (نقطه D به نقطه D′ میرود).



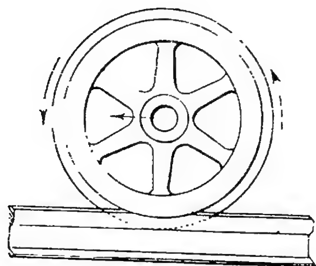
شکل ۸ — آزمایش با دایره و چوب کبریت. وقتی چرخ به طرف چپ میغلتد نقاط F، E، D واقع در آن قسمت چوب کبریت که خارج از دایره قرار دارد، بطرف دیگر یعنی به طرف راست حرکت میکنند.

نقطه‌های لبهٔ برآمدهٔ چرخ قطار راه‌آهن نیز درست مانند نقاط خارج از کناره دایره در آزمایش ما حرکت میکنند.

حالا دیگر شما نباید تعجب کنید که در قطار راه‌آهن نقاطی هست که نه بجلو بلکه بعقب حرکت میکنند. درست استکه این حرکت جزء بسیار کوچکی از یک ثانیه طول میکشد، اما هر چه باشد، علیرغم تصورات معمولی ما، در قطار در حال حرکت تغییر مکان در جهت عکس وجود دارد. این مطلب در شکلهای ۹ و ۱۰ توضیح داده شده است.



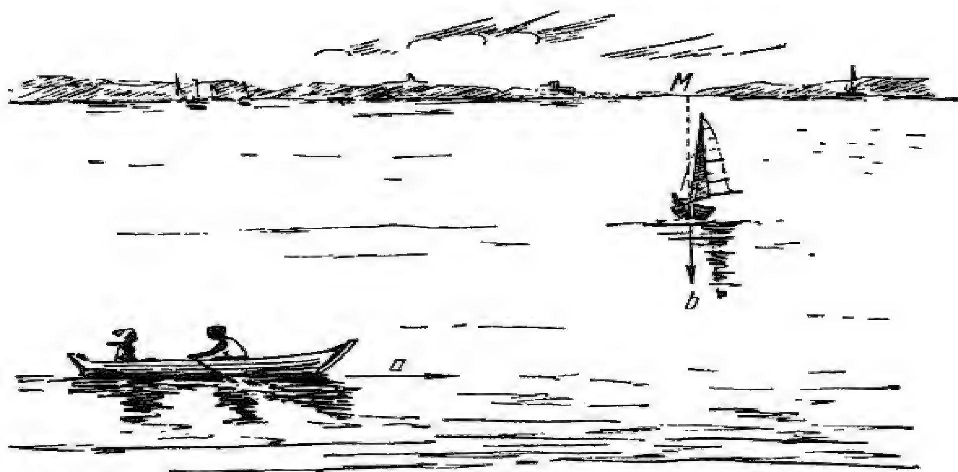
شکل ۱۰ — در بالا منحنی‌ای («سیکلوئید») که هر نقطه چنبر چرخ گاری در حال حرکت رسم میکند، نشان داده شده است. در پائین منحنی‌ای که هر نقطهٔ لبهٔ برآمده چرخ قطار راه آهن رسم میکند، نشان داده شده است.



شکل ۹ — وقتی چرخ قطار راه آهن به طرف چپ حرکت میکند، قسمت‌های پائینی لبه برآمده آن به طرف راست، یعنی در جهت عکس حرکت میکنند.

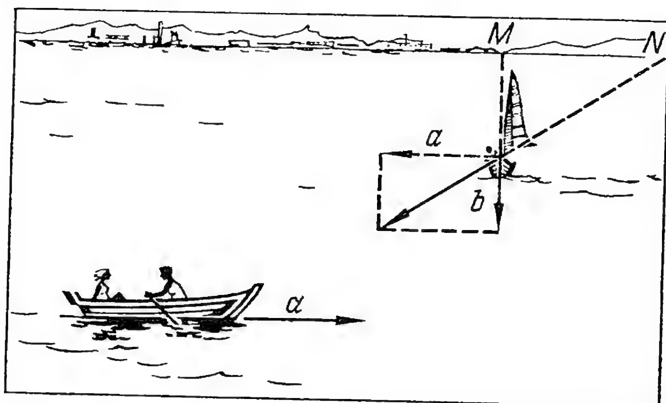
قایق از کجا حرکت کرده است؟

تصور کنید که یک قایق پاروئی در دریاچه حرکت میکند. فرض کنیم که بردار a (ش ۱۱) جهت و سرعت حرکت قایق پاروئی را نشان میدهد. قایق بادبانی نسبت به قایق پاروئی میانبر حرکت میکند. بردار b جهت و سرعت قایق بادبانی را نشان میدهد. اگر از شما بپرسند قایق بادبانی از چه نقطه‌ای در ساحل حرکت کرده است، فوراً نقطه M را نشان خواهید داد. اما اگر همین سؤال از سرنشینان قایق پاروئی میشد آنها نقطه دیگری را نشان میدادند. چرا؟



زیرا سرنشینان قایق پاروئی قایقی می‌بینند که نسبت به خط سیر قایق آنها نه با زاویه قائمه بلکه با زاویه دیگری حرکت میکند. علت این امر آنستکه آنها حرکت خود را حس نمیکنند، بنظرشان می‌آید که خودشان بیحرکت در یک نقطه ایستاده‌اند و همه چیز در اطراف با سرعت آنها حرکت میکند، اما در جهت عکس حرکت آنها. باین دلیل برای آنها قایق بادبانی نه فقط در جهت بردار b، بلکه در جهت خط نقطه چین a، عکس جهت حرکت قایق پاروئی، نیز حرکت میکند (ش ۱۲). هر دو حرکت قایق بادبانی — هم حرکت واقعی و هم حرکت ظاهری — طبق قاعده متوازی‌الاضلاع با هم ترکیب میشود. در نتیجه بنظر سرنشینان قایق پاروئی میرسد که قایق بادبانی در جهت قطر متوازی‌الاضلاع ساخته شده از b و a حرکت میکند. باین دلیل بنظر سرنشینان قایق پاروئی میرسد که قایق بادبانی نه از نقطه M در ساحل، بلکه از نقطه N که در سمت حرکت آنها از نقطه M خیلی جلو تر است، حرکت کرده است (ش ۱۲).

ما که همراه زمین در مدار آن بدور خورشید حرکت میکنیم و با اشعهٔ ستاره‌ها برمیخوریم، در باره مبدأ این اشعه همانطور نادرست قضاوت میکنیم که سرنشینان قایق پاروئی در تعیین نقطهٔ حرکت قایق بادبانی قضاوت میکردند. باین دلیل ستاره‌ها در سمت حرکت زمین کمی جلوتر از محل واقعی خودشان بنظر ما می‌آیند. البته سرعت حرکت زمین نسبت به سرعت نور بسیار ناچیز (۱۰۰۰۰ بار



شکل ۱۲ — بنظر سرنشینان قایق پاروئی میرسد که قایق بادبانی نسبت به سمت حرکت آنها نه بطور عمودی بلکه مایل حرکت میکند و نه از نقطه M بلکه از نقطه N حرکت کرده است.

کمتر) است. باین دلیل تغییر مکان ظاهری ستاره‌ها قابل ملاحظه نیست. اما این تغییر مکان ظاهری را میتوان بوسیله ابزار و آلات نجومی آشکار ساخت. این پدیده کج‌راهی یا انحراف نور نامیده میشود.

اگر به اینگونه مسائل علاقه پیدا کرده‌اید، بدون تغییر شرایط مسأله قایق، به سئوالات زیر جواب بدهید:

۱ — قایق پاروئی برای سرنشینان قایق بادبانی در چه جهت حرکت میکند؟

۲ — به عقیده سرنشینان قایق بادبانی قایق پاروئی کجا میرود؟

برای جواب دادن باین سؤالات باید روی بردار a (ش ۱۲) متوازی‌الاضلاع بردارهای سرعت را رسم کنید. قطر این متوازی‌الاضلاع نشان میدهد که بنظر سرنشینان قایق بادبانی قایق پاروئی مورب حرکت میکند، گوئی میخواهد به ساحل برود.

فصل دوم

ثقل و وزن . اهرم فشار

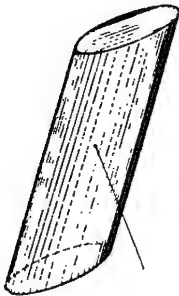
برخیزید!

اگر من به شما بگویم: «حالا طوری روی صندلی می‌نشینید که حتی اگر هم بسته نباشید نمیتوانید برخیزید» ، البته گمان میکنید شوخی میکنم.

بسیار خوب. مانند آدمی که در شکل ۱۳ تصویر شده است بنشینید، یعنی بالاتنه‌تان را قائم نگهدارید و پاهایتان را به زیر صندلی خم نکنید. حالا بدون آنکه وضع پاهایتان را تغییر دهید و بدون آنکه بالاتنه‌تان‌را به جلو خم کنید، بکوشید برخیزید.



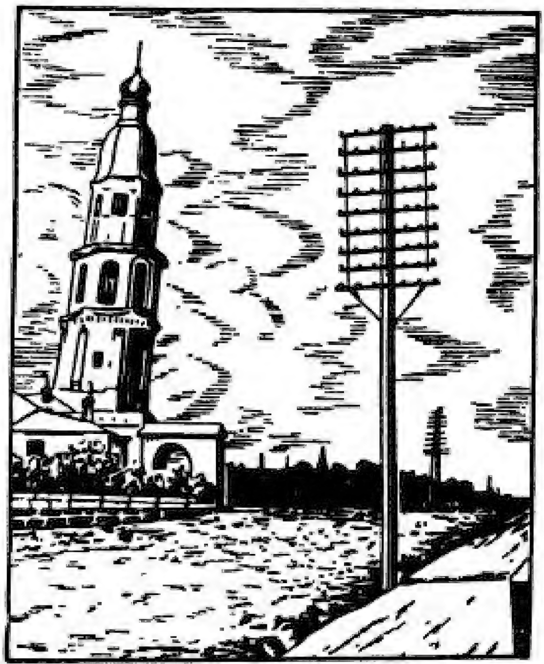
شکل ۱۳ — در این حالت ممکن نیست بتوان از روی صندلی برخاست.

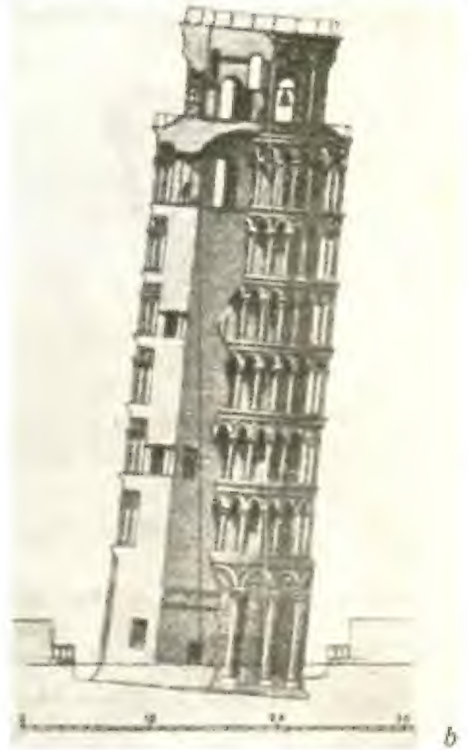


شکل ۱۴ — چنین استوانه‌ای باید بیفتد، زیرا خط قائم از مرکز ثقل آن از خارج سطح اتکاء استوانه میگذرد.

ها، نمیتوانید؟ تا زمانی که پاهایتان را به زیر صندلی نبرید یا بالاتنه‌تان‌را به جلو خم نکنید، هر قدر هم به عضلاتتان فشار بیاورید، نمیتوانید برخیزید.

برای آنکه بفهمیم چرا نمیتوان برخاست، باید درباره تعادل اجسام بطور کلی، از جمله درباره تعادل بدن انسان، قدری بحث کنیم. فقط وقتی که خط قائم از مرکز ثقل یک جسم از داخل سطح اتکاء آن بگذرد، جسم نمی‌افتد. باین دلیل استوانهٔ مایل (ش ۱٤) حتما باید بیفتد. اما اگر





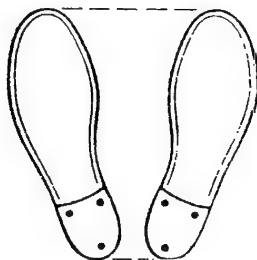
شکل ۱۵، ؛ — برج ناقوس مایل در آرخانگلسک (از روی یک عکس قدیمی). b — « مناره مایل » در پیزا.

استوانه بقدری کلفت میبود که خط قائم از مرکز ثقل آن از سطح اتکایش میگذشت، استوانه نمی‌افتاد. منارهای معروف به «منار مایل» در پیزا و بولونی و یا برج ناقوس مایل در آرخانگلسک (ش ۱۰)، با اینکه مایل ساخته شده‌اند نمی‌افتند، زیرا خط قائم از مرکز ثقل آنها از داخل سطح اتکاء آنها میگذرد (دلیل دیگر، دلیل درجهٔ دوم، آنستکه پایه‌های آنها در زمین فرو رفته است).

آدمی که ایستاده است فقط تا وقتیکه خط قائم از مرکز ثقلش از سطح محدود به کناره کف دو پایش میگذرد، نمی افتد (ش ۱۶). باین دلیل ایستادن روی یک پا مشکل است. ایستادن روی طناب از آنهم مشکلتر است، زیرا سطح اتکاء بسیار کوچک است و خط قائم از مرکز ثقل آدم بآسانی از حدود سطح اتکاء خارج میشود. توجه کرده‌اید که دریانوردان پیر چه طرز راه رفتن ویژهٔ عجیبی دارند؟ دریانوردان که تمام عمرشان را در کشتی گذرانده و با کشتی تلو تلو میخورند و خط قائم از مرکز ثقلشان هر ثانیه ممکن است از سطح زیر کف پاهایشان خارج شود، عادت میکنند چنان گام بردارند که سطح اتکاء بدنشان (یعنی پاهای از هم دور گذاشته شده) حتی المقدور بیشتر باشد و در نتیجه روی عرشه کشتی که دائم تکان میخورد بتوانند تعادل خودرا حفظ کنند. طبیعی است که این عادت هنگام راه رفتن روی زمین سفت و بدون تکان هم در آنها باقی میماند. میتوان مثال عکس این‌را نیز آورد، یعنی وقتیکه لزوم حفظ تعادل موجب زیبائی حالت بدن انسان میشود. آیا توجه کرده‌اید که بدن آدمی که روی سرش باری گذاشته و میبرد، چه حالت زیبائی دارد؟ زیبائی اندام مجسمه‌های زنهائی که روی سرشان کوزه گذاشته‌اند، بر همه معلوم است. وقتی روی سرمان باری گذاشته و میبریم، مجبور هستیم سر و بالاتنه را بالا راست نگهداریم، زیرا کوچکترین تمایل بدن خطر آن را دارد که خط قائم از مرکز ثقل (در این موارد مرکز ثقل آدم از محل معمولی بالاتر میرود) از محیط سطح اتکاء خارج شود، آنوقت تعادل بدن بر هم میخورد.

حالا به آزمایش برخاستن آدمی که روی صندلی نشسته است، برمیگردیم. مرکز ثقل آدمی که نشسته است در داخل بدن نزدیک ستون فقرات، در حدود ۲۰ سانتیمتر بالاتر از ناف قرار دارد. اگر خط قائم از این نقطه را به طرف پائین رسم کنیم، از زیر صندلی، عقب کف پاها میگذرد. اما برای آنکه آدم بتواند برخیزد، این خط باید از میان کف دو پایش بگذرد.

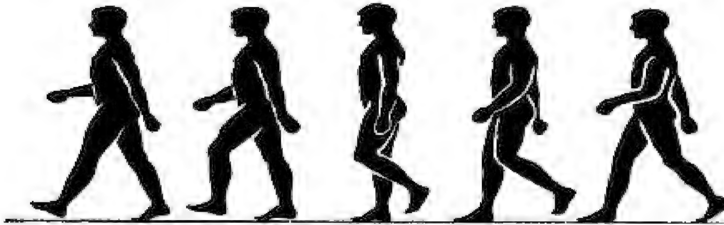
بنا بر این، وقتی میخواهیم برخیزیم یا باید سینه را جلو بدهیم و باین وسیله مرکز ثقل را جلو بیاوریم، یا باید پاها را عقب ببریم تا سطح اتکاء در زیر مرکز ثقل قرار گیرد. معمولا وقتی میخواهیم از روی صندلی برخیزیم، همین کار را میکنیم. اما اگر به ما اجازه ندهند هیچیک از این دو کار را بکنیم، آنوقت، بطوریکه در آزمایش بالا دیدید، نمیتوانیم برخیزیم.



شکل ۱۶ — وقتی آدم ایستاده است، خط قائم از مرکز بدنش از داخل سطح محدود به دوره کف پاهایش میگذرد.

قدم و دو

کاری که در تمام عمر هر روز دهها هزار بار انجام میدهید، باید برایتان کاملا روشن و معلوم باشد. معمولا اینطور فکر میکنند، اما این فکر در همه موارد درست نیست. بهترین مثال برای صحت این مدعا قدم و دو است. آیا چیزی هست که ما بیش از این دو حرکت با آن آشنا باشیم؟ اما، آیا کسانی که از طرز تغییر مکان بدن ما هنگام راه رفتن و دویدن تصور روشنی

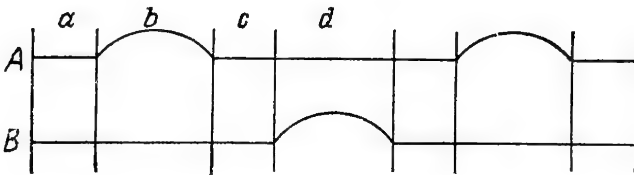


شکل ۱۷ — چگونگی راه رفتن آدم. حالت‌های پی در پی بدن هنگام راه رفتن.

داشته باشند و تفاوت میان این دو نوع حرکت را بطور وضوح بدانند، زیادند؟ گوش کنیم و ببینیم فیزیولوژی در باره قدم و دو چه میگوید*.

من یقین دارم که برای اکثریت مردم این توصیف کاملا تازگی دارد.

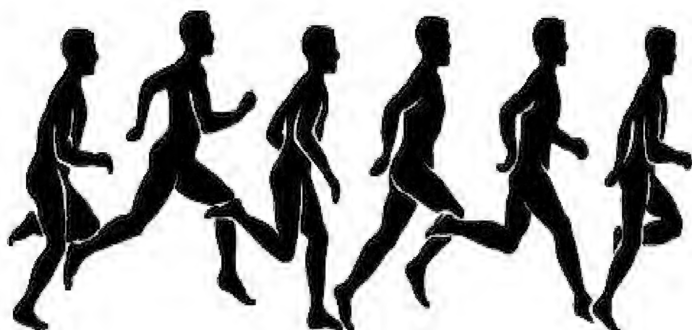
«فرض میکنیم که آدم روی یک پا، مثلا پای راست، ایستاده است. در نظر مجسم میکنیم که پاشنهٔ پایش‌را کمی بلند میکند و در همان موقع بدنش را به جلو خم میکند**.



شکل ۱۸ — نمودار حرکت پاها هنگام راه رفتن. خط بالائی (A) مربوط به یک پا و خط پائینی (B) مربوط به پای دیگر است. خطوط مستقیم نمودار لحظات اتکاء پا به زمین و قوس‌ها نمودار حرکت بدون اتکاء میباشد. از نمودار دیده میشود که طی مدت a هر دو پا به زمین اتکاء دارند، در مدت b پای A در هواست و پای B همانطور به زمین اتکاء دارد، در مدت c از نو هر دو پا به زمین اتکاء دارند. هر چه قدم سریعتر باشد، بهمان نسبت مدت زمانهای a و c کوتاهتر میشوند (با نمودار شکل ۲۰ مقایسه کنید).

* — متن قسمت زیر از اثر پروفسور پل بر «سخنرانی‌های جانورشناسی» برداشته شده و تصاویر را مؤلف این کتاب بر آن افزوده است.

** — در این ضمن آدم در حال حرکت، برای جدا شدن از محل اتکاء خود، علاوه بر وزنش فشاری معادل در حدود ۲۰ کیلوگرم بر سطح اتکاء وارد می‌آورد. ضمناً از اینجا نتیجه میشود که آدم در حال حرکت بیشتر از آدم ایستاده بر زمین فشار وارد می‌آورد. — پرلمان.

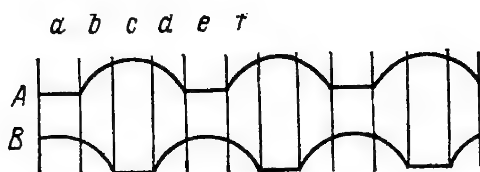


شکل ۱۹ — چگونگی دویدن آدم. حالت‌های پی در پی بدن هنگام دویدن.

روشن است که در این حالت خط قائم از مرکز ثقل از سطح اتکاء خارج میشود و آدم باید بجلو بیفتد. اما همینکه افتادن شروع شد فوراً پای چپ او که در هوا مانده بود، بسرعت بجلو حرکت میکند و جلو خط قائم از مرکز ثقل روی زمین قرار میگیرد، بطوریکه خط قائم در داخل سطحی واقع میشود که از خطوط اتصال نقاط اتکاء هر دو پا ایجاد شده است. بدین ترتیب از نو تعادل برقرار شده و آدم یک قدم برداشته است.

آدم میتواند در این حالت بسیار خسته کننده باقی بماند. اما اگر بخواهد به حرکت خود ادامه دهد، بدنش را باز هم به جلو خم میکند و خط قائم از مرکز ثقل را به خارج سطح اتکاء میبرد و در لحظهٔ خطر افتادن، از نو پایش را به جلو میبرد، اما حالا دیگر نه پای چپ بلکه پای راست‌را، و در نتیجه یک قدم دیگر برداشته است، و بهمین ترتیب قدم‌های بعدی را برمیدارد. بنا براین راه رفتن چیزی نیست جز یک رشته افتادن‌های پی در پی به جلو که با گذاشتن پای عقب به جلو و تکیه بر آن از افتادن‌ها جلوگیری شده است.

حالا مسأله را کمی از نزدیکتر بررسی میکنیم. فرض میکنیم قدم اول برداشته شده است. در این لحظه پای راست هنوز به زمین تماس دارد و پای چپ روی زمین گذاشته میشود. اما اگر قدم خیلی کوتاه نباشد، پاشنهٔ پای راست باید کمی بلند شود، زیرا همانا این بلند شدن پاشنه است که به بدن امکان میدهد به جلو خم شود و تعادل را برهم زند. قبل از همه پاشنهٔ پای چپ به زمین میرسد. وقتی پس از پاشنه، تمام کف پای چپ روی زمین قرار گرفت، پای راست کاملا به هوا بلند میشود. در همان وقت پای چپ که از زانو کمی خم شده بود، بوسیله انقباض عضلهٔ سه‌سر



شکل ۲۰ — نمودار حرکت پاها هنگام دویدن (با شکل ۱۸ مقایسه کنید). از نمودار دیده میشود که برای کسی که میدود لحظاتی وجود دارد (b, d, f) که هر دو پایش در هوا حرکت میکنند. تفاوت دو با قدم در همین است.

ران، راست میشود و برای یک لحظه بحالت قائم درمی‌آید. این عمل به پای نیم‌خم راست امکان میدهد که بدون تماس با زمین به دنبال بدن به جلو حرکت کند و درست در لحظهٔ لازم برای قدم بعدی، پاشنه‌اش به زمین برسد.

همینگونه حرکات پی در پی بعداً برای پای چپ آغاز میشود، در این وقت فقط انگشت‌های پای چپ به زمین تکیه دارند و بزودی باید پا به هوا بلند شود.

تفاوت دو با قدم در اینستکه هنگام دو، پائی که روی زمین قرار دارد، در نتیجه انقباض ناگهانی عضلات بشدت راست میشود و بدن را به جلو می‌اندازد، بطوریکه بدن در یک لحظه بکلی از زمین جدا میشود و بعد روی پای دیگر بسرعت بزمین می‌آید. این پا در مدتی که بدن در هوا بود بسرعت بجلو آورده شده است. بدین ترتیب، دو عبارت است از تعدادی پرشهای پی در پی از روی یک پا به روی پای دیگر.»

و اما نیروئی که آدم هنگام راه رفتن در یک راه افقی مصرف میکند، برخلاف تصور برخی، مساوی صفر نیست. مرکز ثقل یک نفر پیاده در هر قدم چند سانتیمتر بلند میشود. میتوان حساب کرد که کار هنگام راه رفتن در راه افقی معادل یک پانزدهم کاری است که برای بلند کردن بدن پیاده به ارتفاع مساوی راهی که پیموده است، لازم میباشد.

از واگن در حال حرکت چطور باید پرید؟

اگر این سوٴال را به کسی بدهید، البته چنین جوابی خواهید شنید: «به جلو، در جهت حرکت، طبق قانون اینرسی». اما از او خواهش کنید توضیح بدهد که قانون اینرسی چه ربطی به این مسأله دارد، میتوان پیش‌بینی کرد که در اینصورت چه رخ میدهد. مصاحب شما با اعتماد کامل شروع به اثبات عقیده خود میکند. اما اگر حرف اورا قطع نکنید، خودش بزودی سکوت اختیار میکند، زیرا معلوم میشود که همانا در نتیجه قانون اینرسی باید به عقب در جهت عکس حرکت پرید.

واقعاً هم قانون اینرسی در اینجا نقش درجهٔ دوم را دارد، علت اصلی چیز بکلی دیگری است. اگر این علت اصلی را از نظر دور بداریم، واقعا باین نتیجه میرسیم که باید به عقب پرید، نه به جلو.

فرض کنید که مجبورید در حرکت بپرید. ضمن پریدن چه رخ میدهد؟

وقتی ما از واگن در حال حرکت میپریم، بدنمان دارای همان سرعت واگن است و طبق قانون اینرسی به جلو حرکت میکند. وقتی به جلو میپریم، البته نه اینکه این سرعت را از بین نمیبریم، بلکه برعکس، آن را باز هم افزایش میدهیم.

از اینجا نتیجه میشود که میبایست به عقب پرید، نه در جهت حرکت واگن به جلو. زیرا ضمن پریدن به عقب سرعت حاصله از پرش از سرعتی که بدن ما طبق قانون اینرسی حرکت میکند، کم میشود. در نتیجه، بدن ما پس از تماس با زمین با نیروی کمتری به جلو خواهد افتاد.

با همه اینها، اگر پریدن از وسیلهٔ نقلیهٔ در حال حرکت ضرورت پیدا کند، همه به جلو، در جهت حرکت میپرند. این واقعاً بهترین طرز پریدن است و بقدری مورد آزمایش قرار گرفته که ما همیشه خوانندگان را برحذر میکنیم که دیگر پرش به عقب را نیازمایند.

پس قضیه از چه قرار است؟

اصل مطلب در نادرست بودن و ناتمام گذاشتن توضیحات است. چه ما به جلو بپریم و چه به عقب، در هر صورت خطر افتادن ما را تهدید میکند، زیرا وقتی پاها با زمین تماس پیدا میکنند و از حرکت باز می‌ایستند، بالاتنه باز هم حرکت خواهد کرد.* سرعت این حرکت هنگام پریدن به جلو حتی از سرعت آن هنگام پریدن به عقب بیشتر است. اما اهمیت اصلی مسأله در اینستکه خطر افتادن به جلو از خطر افتادن به عقب بمراتب کمتر میباشد. در مورد اول ما با یک حرکت عادی پا را جلو میگذاریم (چنانچه سرعت واگن زیاد باشد چند قدم میدویم) و باین وسیله از افتادن جلوگیری میکنیم. این حرکت عادی است، زیرا ما تمام عمر ضمن راه رفتن آن‌را انجام میدهیم: بطوریکه در مبحث پیش دیدیم، از نظر مکانیک، راه رفتن چیزی نیست جز یک رشته افتادن‌های پی در پی بدن ما به جلو که با گذاشتن پا به جلو از افتادن جلوگیری شده است. هنگام افتادن به عقب این حرکت نجاتبخش پاها وجود ندارد و بهمین دلیل خطر بمراتب بیشتر است. بالاخره این مطلب نیز اهمیت دارد که وقتی ما واقعا هم به جلو زمین میخوریم با قرار دادن دستها به جلو کمتر از زمین خوردن به عقب صدمه می‌بینیم.

باین ترتیب، علت اینکه خطر پریدن از واگن بجلو کمتر است، بیش از آنچه در قانون اینرسی نهفته باشد، در خود ما نهفته است. روشن استکه برای اجسام بی جان این قاعده قابل تطبین نیست. احتمال شکستن بطری‌ایکه از واگن به جلو پرت کنیم از احتمال شکستن بطری‌ایکه به عقب پرت کنیم، بیشتر است. بنا براین، چنانچه لازم باشد بدلیلی از واگن بپرید و بخواهید قبلا باری را که با خود دارید پرت کنید، باید بار را به عقب پرت کنید و خودتان به جلو بپرید.

اشخاص کارآزموده، از قبیل بلیت‌فروش‌های تراموای و بازرس‌های قطار، اغلب این کار را میکنند: رو به جهت حرکت واگن می‌ایستند و به عقب میپرند. این کار دو سود دارد: از سرعتی که بدن ما طبق قانون اینرسی دارد، میکاهد و بعلاوه از خطر زمین خوردن به پشت جلوگیری میکند، زیرا کسی که میپرد، رو بطرف زمین خوردن احتمالی میباشد.

گرفتن گلوله جنگی با دست در هوا

طبق اطلاع روزنامه‌ها، در دوره جنگ اول جهانی برای یک خلبان فرانسوی حادثه خارق‌العاده‌ای رخ داد. خلبان در ارتفاع دو هزارمتری پرواز میکرد و دید که نزدیک صورتش جسم کوچکی در حرکت است. خلبان بتصور اینکه حشره‌ای است، جسم را باچابکی با دست گرفت. تصور کنید وقتی که خلبان فهمید یک گلوله جنگی آلمانی را در هوا گرفته است، چقدر به حیرت و تعجب افتاد!

آیا این حادثه به افسانه‌های دروغین بارون مونش‌هاوزن که گویا گلوله‌های توپ را در هوا با دست میگرفت، شباهت ندارد؟

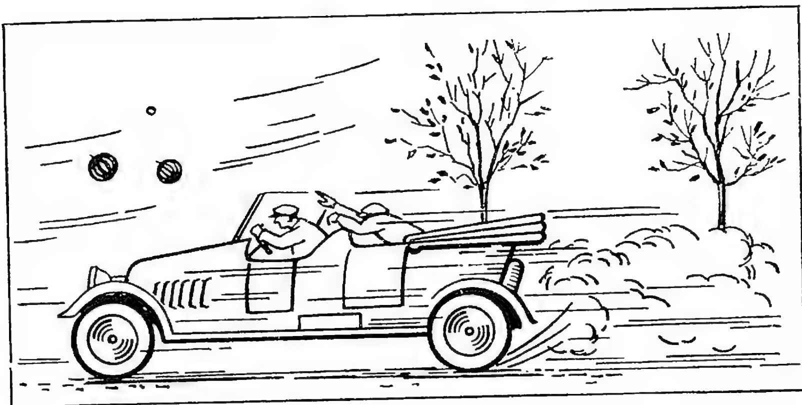
---

* — افتادن را از نقطه نظر دیگری نیز میتوان توضیح داد. در این باره به «مکانیک برای سرگرمی» فصل سوم، مبحث: «چه وقت خط افقی افقی نیست؟» مراجعه کنید.

با وجود این، در خبر مربوط به خلبانی که گلوله‌را در هوا گرفته بود، هیچ چیز غیر ممکن وجود ندارد.
زیرا گلوله همیشه با سرعت اولیه خود — ۸۰۰ — ۹۰۰ متر در ثانیه — حرکت نمیکند. سرعت گلوله به علت مقاوست هوا بتدریج کم میشود و در انتهای خط سیر، هنگام فرود آمدن، به در حدود ۴۰ متر در ثانیه میرسد. هواپیما نیز میتواند با این سرعت پرواز کند. بنا بر این، به آسانی ممکن است اتفاق بیفتد که گلوله و هواپیما دارای سرعت یکسانی باشند. آنوقت گلوله نسبت به خلبان بیحرکت خواهد بود، یا با سرعت بسیار کمی حرکت خواهد کرد. در اینصورت گرفتن گلوله در هوا هیچ اشکالی ندارد، بخصوص با دستکش، زیرا گلوله‌ای که در هوا پرواز میکند بشدت داغ میشود.

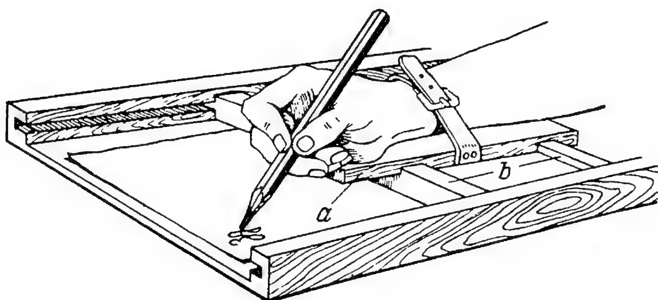
هندوانه — بمب

اگر در شرایط معینی ممکن است گلوله صدمه‌ای نرساند، عکس این قضیه نیز امکان پذیر است، یعنی ممکن است «جسم صلح پروری» که با سرعت کم پرتاب شده است، تأثیرات ویران کننده‌ای ببار آورد. هنگام مسابقه اتومبیل‌رانی لنینگراد — تفلیس (در سال ۱۹۲۴) دهقانان روستاهای قفقاز از اتومبیل‌هائی که بسرعت از کنار آنها میگذشتند، با پرتاب هندوانه و خربوزه و سیب به سوی سرنشینان، استقبال میکردند. تأثیر این هدیه‌های بی‌آزار و بی ضرر بهیچوجه خوش‌آیند نبود. زیرا خربوزه‌ها و هندوانه‌ها اطاق‌های ماشین‌هارا قر و له میکردند و میشکستند و سیب‌ها وقتی به سرنشینان میخوردند، صدمات جدی وارد می‌آوردند. علت این امر روشن است: سرعت خود اتومبیل‌ها بر سرعت هندوانه‌ها و سیب‌های پرتاب‌شده افزوده میشد و آنها را به گلوله‌های خطرناک و ویران کننده تبدیل میساخت. به آسانی میتوان حساب کرد که نیروی حرکت گلوله‌ٔ بوزن ۱۰ گرم برابر است با نیروی حرکت هندوانه بوزن ۴ کیلوگرام که به اتومبیل دارای سرعت ۱۲۰ کیلومتر در ساعت پرتاب شود.
البته تأثیر سوراخ‌کننده هندوانه در این شرایط با تأثیر سوراخ کننده گلوله قابل مقایسه نیست، زیرا هندوانه سختی گلوله را ندارد.
وقتی هواپیماهای سریع‌السیر در طبقات بالائی جو (ماوراءٔ جو یا استراتوسفر) پرواز میکنند و سرعت هواپیما به ۳۰۰۰ کیلومتر در ساعت، یعنی برابر سرعت گلوله، میرسد، خلبانان با پدیده‌هائی نظیر آنچه هم اکنون بررسی شد، سر و کار پیدا میکنند. بدین معنی که هر جسمی سر راه اینگونه هواپیماهای فوق العاده سریع‌السیر قرار گیرد، برای هواپیما به گلوله ویران کننده‌ای تبدیل میشود. برخورد با یک مشت گلوله که از هواپیمای دیگری، حتی نه هواپیمائی که از روبرو پرواز میکند، افتاده باشد، درست مانند آنستکه هواپیمارا به مسلسل ببندند. گلوله‌های در حال سقوط با نیروئی برابر نیروی گلوله‌های رگبار مسلسل به هواپیما میخورند و آن‌را سوراخ میکنند، چون سرعت‌های نسبی در هر دو مورد یکسان است (هواپیما و گلوله با سرعت ۸۰۰ متر در ثانیه بیکدیگر نزدیک میشوند)، پس تأثیرات ویران کننده برخورد یکسان خواهد بود.
برعکس، اگر گلوله از عقب هواپیمائی که با سرعت مساوی سرعت گلوله پرواز میکند، حرکت کند، آنوقت، بطوری که میدانیم، به خلبان صدمه‌ای نمیرساند. برشف راننده لکوموتیو در سال



شکل ۲۱ — هندوانه‌ای که به اتوبیل دارای سرعت زیاد پرتاب گردد به « گلوله توپ » تبدیل میشود.

۱۹۳۰ از این قانون که هرگاه دو جسم با سرعت تقریبا مساوی در یک جهت حرکت کنند بدون ضربه بیکدیگر میخورند، با مهارت استفاده کرد و یک قطار در حال حرکت مرکب از ۳۶ واگن را بدون ضربه به قطار خود وصل نمود و با این عمل از یک سانحهٔ راه‌آهن جلوگیری بعمل آورد. این واقعه در راه‌آهن جنوب در فاصله میان ایستگاههای یلنیکوف و الشانکا، در شرایط زیر روی داد. جلو قطاری که برشف میبرد، قطار دیگری میرفت. قطار جلوی بعلت کافی نبودن بخار ایستاد. راننده ۳۶ واگن از قطار خودرا در راه گذاشت و با لکوموتیو و بقیه واگن‌ها بطرف ایستگاه حرکت کرد. چون واگن‌ها در سرازیری قرار داشتند و زیر آنها کفشک نگذاشته بودند، واگن‌ها به عقب به حرکت درآمدند و ۱۵ کیلومتر در ساعت سرعت گرفتند و خطر آن میرفت که به قطار برشف بخورند. راننده سریع‌الانتقال همینکه خطر را دید فوراً راه حل پیدا کرد، بلافاصله قطار خودرا نگهداشت به عقب راند و بتدریج سرعت آن را به ۱۵ کیلومتر در ساعت نزدیک کرد. برشف موفق شد با این مانور قطار مرکب از ۳۶ واگن را بدون کوچکترین صدمه‌ای به قطار خود بچسباند.



شکل ۲۲ — افزاری که بوسیله آن میتوان در قطار در حال حرکت راحت نوشت.

بالاخره، براساس همین اصل افزاری ساخته شده است که نوشتن در قطار در حال حرکت را بسیار آسان میکند. نوشتن در واگن، ضمن حرکت قطار فقط به این دلیل مشکل است که تکان‌های محل اتصال ریلها در یک موقع به کاغذ و به سر قلم منتقل نمیشود. اگر کاری بکنیم که تکان در یک موقع به کاغذ و سر قلم منتقل شود، آنها نسبت به یکدیگر بیحرکت خواهند بود و نوشتن ضمن حرکت قطار دیگر اشکالی نخواهد داشت.

با افزاری که در شکل ۲۲ رسم شده است، به این هدف میتوان رسید.

دستی که قلم را گرفته است به تخته a بسته میشود، این تخته میتواند با شیارهای خود روی تخته b حرکت کند، تخته b نیز بنوبه خود میتواند در شیارهای تخته‌ایکه روی میز واگن قرار دارد، جلو و عقب برود. بطوریکه می‌بینیم، دست امکان حرکت کافی دارد که حروف و خطوط را پشت سر یکدیگر بنویسد. در عین حال هر تکانی به کاغذ روی تخته وارد بیاید، در همان آن و با همان نیرو به دستی که قلم را گرفته است منتقل میشود. در این شرایط نوشتن در قطار در حال حرکت همانقدر آسان است که در واگن بدون حرکت. فقط یک ناراحتی وجود دارد و آن اینکه نگاه با حرکت‌های تند و بریده بریده روی کاغذ میلغزد، زیرا به سر و به دست در یک موقع ضربه وارد نمی‌آید.

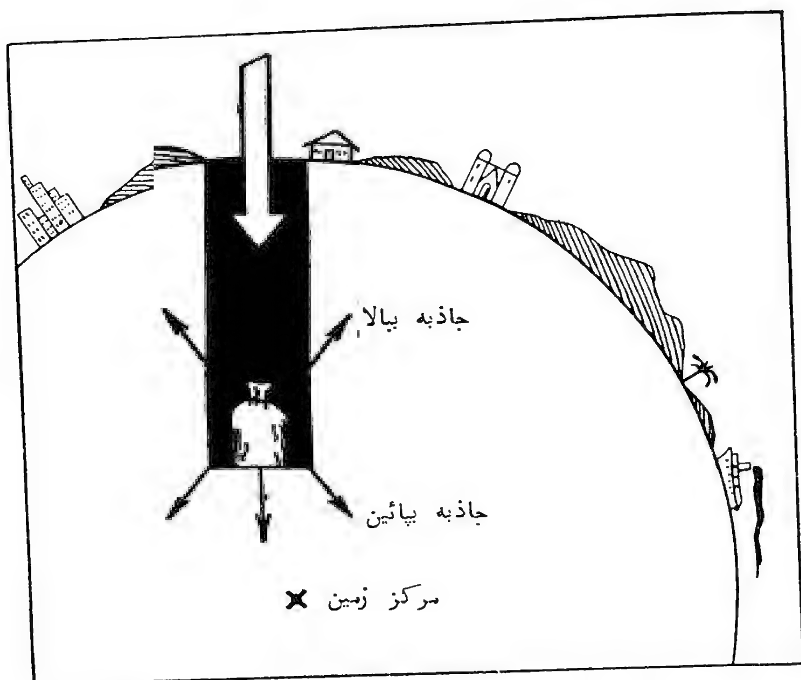
روی کفه قپان فرنگی

قپان فرنگی فقط وقتیکه روی کفه آن کاملا بیحرکت ایستاده اید وزن شما را درست نشان میدهد. وقتی خم میشوید، قپان در لحظه خم شدن وزن کمتری نشان میدهد. چرا؟ زیرا عضلاتی که بالاتنه را به پائین خم میکنند، در عین حال پائین تنه را به بالا میکشند و در نتیجه از فشار پائین تنه به سطح اتکاء آن میکاهند. برعکس، در لحظه‌ای که با فشار عضلات، بالاتنه و پائین‌تنه‌را به دو سوی مختلف هل میدهید و خم شدن بالاتنه را قطع میکنید، قپان وزن بیشتری را نشان میدهد، مقدار افزایش وزن با میزان افزایش شدت فشار پائین تنه بر روی کفه قپان متناسب است.

حتی بالا بردن دست که مقدار بسیار کمی بر وزن ما می‌افزاید، باید موجب نوسان ترازوی حساس بشود. عضلاتی که دست را بالا میبرند به شانه اتکاء دارند و در نتیجه شانه را با بالاتنه به پائین هل میدهند و فشار روی کفهٔ قپان افزایش می‌یابد. وقتی حرکت دستی‌را که بالا میبردیم متوقف میکنیم، عضلات عکس عضلات اول را به حرکت در می‌آوریم، این عضلات میکوشند شانه‌را به انتهای دست نزدیک کنند و شانه‌را به بالا بکشند، در نتیجه فشار بدن بر سطح اتکاء آن، یا بعبارت دیگر وزن کم میشود.

برعکس، وقتی دستمان‌را پائین می‌آوریم با این حرکت وزن خود را کم میکنیم و در لحظهٔ متوقف ساختن حرکت دست، بر وزن خود می‌افزائیم. خلاصه ما میتوانیم با عمل نیروهای درونی خویش وزن بدن خود را زیاد یا کم کنیم، البته در این مورد مقصود از وزن مقدار فشار وارده بر سطح اتکاء می‌باشد.

هر چه از سطح زمین بالاتر برویم نیروی زمین که اجسام را بخود جذب میکند (نیروی جاذبه) کمتر میشود. اگر وزنهٔ یک کیلوگرمی را به ارتفاع ۶۴۰۰ کیلومتر از سطح زمین بالا ببریم، یعنی وزنه را باندازه دو برابر شعاع کره زمین از مرکز دور کنیم، نیروی جاذبه باندازه ۲^۲ یعنی چهار بار کمتر خواهد شد و وزنه یک کیلوگرمی با ترازوی فنری بجای ۱۰۰۰ گرم، فقط ۲۵۰ گرم وزن خواهد داشت. کره زمین طبق قانون جاذبه، اجسام خارجی را طوری جذب میکند که گویا تمام جرم زمین در مرکز آن متمرکز شده است و این نیروی جاذبه با مجذور فاصله نسبت معکوس



شکل ۲۳ — چرا با فرو رفتن به عمق زمین نیروی ثقل کم میشود.

دارد. در مثال بالا فاصله وزنه از مرکز زمین دو برابر شده بود، در نتیجه جاذبه باندازه ۲^۲ یعنی چهار بار ضعیفتر شده بود. اگر وزنه را باندازه ۱۲۸۰۰ کیلومتر از سطح زمین بالا ببریم، یعنی فاصله آن را با مرکز زمین سه برابر کنیم، نیروی جاذبه را باندازه ۳^۲ یعنی ۹ بار ضعیفتر کرده‌ایم. در اینصورت وزنه ۱۰۰۰ گرمی فقط ۱۱۱ گرم وزن خواهد داشت، و باز هم هر چه فاصله را زیادتر کنیم وزن به نسبت مجذور فاصله کمتر خواهد شد.

طبیعتاً چنین فکری پیدا میشود که اگر با وزنه به اعماق زمین فرو برویم، یعنی جسم را به مرکز زمین نزدیک کنیم، باید مشاهده کنیم که نیروی جاذبه افزایش می‌یابد، یعنی وزنه در اعماق زمین باید سنگین‌تر باشد. این تصور نادرست است. با فرو رفتن به اعماق زمین وزن اجسام افزایش نمی‌یابد، بلکه برعکس، کم میشود. علت این امر اینستکه در اینصورت قسمت‌های جذب کننده زمین نه در یک طرف جسم، بلکه در چند طرف آن قرار دارند. به شکل ۲۳ نگاه کنید. بطوریکه مشاهده میکنید، جسمی که در عمق زمین قرار دارد، بوسیله قسمت‌هائی از زمین که در زیر آن واقع است، به پائین جذب میشود و در عین حال بوسیله قسمت‌هائی که در بالای آن واقع است، به بالا جذب میشود. میتوان ثابت کرد که در نتیجه نهائی فقط نیروی جاذبه کره‌ای بشعاع از مرکز زمین تا محل قرار داشتن جسم، روی جسم اثر میکند. بنا بر این هر چه جسم به اعماق زمین فرو رود وزن آن بسرعت تقلیل می‌یابد. وقتی جسم به مرکز زمین برسد، بکلی وزن خودرا از دست میدهد و بی‌وزن میشود، زیرا قسمت‌هائی که جسم را احاطه کرده‌اند، آنرا با نیروی یکسانی به همه طرف جذب میکنند.

بنا بر آنچه گفته شد، وزن جسم روی سطح زمین از هر جای دیگر بیشتر است، با دور شدن جسم از سطح زمین، به بالا یا به اعماق زمین، وزن آن کاهش می‌یابد*.

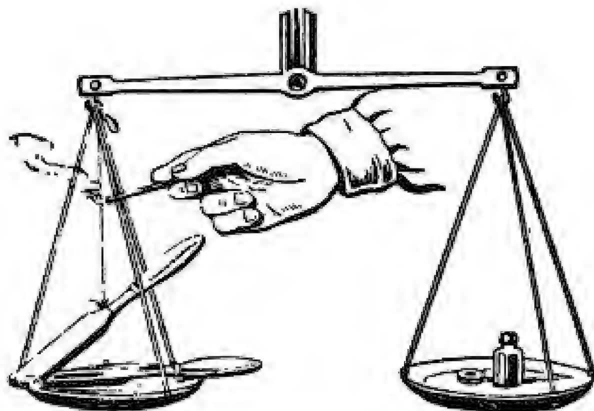
جسم در حال سقوط چقدر وزن دارد؟

آیا متوجه شده‌اید که در لحظه‌ایکه آسانسور شروع به پائین آمدن میکند، چه حالتی در خود احساس میکنید؟ یک سبکی غیر عادی شبیه به حالت آدمی که از پرتگاه پائین می‌افتد... این حالت چیزی نیست جز احساس بی‌وزنی. در لحظهٔ اول وقتی کف آسانسور زیر پای شما پائین میرود، اما شما هنوز سرعت مساوی با سرعت آسانسور را کسب نکرده اید، جسم شما تقریبا بر کف آسانسور فشار نمی‌آورد، بنا بر این وزن بدن بسیار کم است. همینکه لحظه‌ای گذشت احساس این حالت عجیب از میان میرود. بدن شما که باید با سرعتی بیشتر از سرعت یکنواخت آسانسور سقوط کند، از نو وزن کامل خود را بدست می‌آورد.

یک وزنه از چنگک ترازوی فنری آویزان کنید و ترازو را با وزنه بسرعت پائین بیاورید، در این ضمن توجه داشته باشید که شاخص ترازو به کدام جهت حرکت میکند (برای راحتی یک تکه کوچک چوب پنبه در شکاف ترازو بگذارید و به تغییر محل آن توجه کنید). یقین حاصل خواهید کرد که شاخص ترازو هنگام سقوط، وزن کامل وزنه را نشان نمیدهد، بلکه بمراتب کمتر نشان میدهد. اگر ترازو بطور آزاد سقوط میکرد و شما امکان میداشتید هنگام سقوط آزاد مراقب شاخص ترازو باشید، میدیدید که وزنه هنگام سقوط آزاد اصلا وزن ندارد و شاخص ترازو روی رقم صفر است. سنگین‌ترین جسم در تمام مدت سقوط آزاد کاملا بی وزن میشود. درک علت این امر آسان

---

*اگر کره زمین از لحاظ تراکم کاملا همگون بود، این حکم دقیقاً صدق میکرد. اما در واقع تراکم زمین با نزدیک شدن به مرکز آن افزایش می‌یابد. باین دلیل وقتی به اعماق زمین فرو میرویم، ابتدا تا مسافتی نیروی ثقل افزایش می‌یابد و فقط پس از آن شروع به کاهش میکند.



شکل ۲٤ — آزمایشی که بی‌وزنی جسم در حال سقوط را نشان میدهد.

است. ما نیروئی را که جسم نقطهٔ تعلیق را به پائین میکشد، یا بر سطح اتکاً خود فشار وارد می‌آورد، «وزن» جسم می‌نامیم. اما جسم در حال سقوط فنر ترازو را بهیچوجه نمیکشد، زیرا فنر نیز با جسم سقوط میکند. تا زمانی که جسم در حال سقوط است هیچ چیز را نمیکشد و به هیچ چیز فشار نمی‌آورد. بنا بر این اگر بپرسیم جسم در حال سقوط چقدر وزن دارد، درست مثل آنستکه بپرسیم، وقتی جسم وزن ندارد چقدر وزن دارد؟

گالیله پایه گذار مکانیک در قرن ۱۷ میلادی نوشت*: ما هنگامی بار را روی دوش خود حس میکنیم که مانع سقوط آن میشویم. اما اگر با سرعتی مساوی سرعت باری که روی دوشمان است به پائین حرکت کنیم، آنوقت چطور بار میتواند فشار وارد بیاورد و باعث زحمت ما بشود؟ این مثل آنستکه بخواهیم نیزه ما به شخصی که با سرعتی مساوی سرعت ما جلوبمان میدود، اصابت کند».**

آزمایش زیر که به آسانی میتوان آن را انجام داد، صحت گفته های گالیله را تایید میکند. در یک کفه ترازوی شاهین‌دار یک فندق شکن بگذارید، بطوری که یک دسته آن روی کفهٔ ترازو قرار بگیرد و دسته دیگر را با نخ به چنگک شاهین ترازو ببندید (ش ۲٤). در کفهٔ دیگر آنقدر وزنه بگذارید تا ترازو بحالت تعادل درآید. یک کبریت روشن را به نخ نزدیک کنید، نخ میسوزد و دسته بالائی فندق شکن به کفهٔ ترازو می‌افتد.

در این لحظه ترازو به چه حالتی در می‌آید؟ آیا در مدتی که دستهٔ فندق شکن سقوط میکند، کفهٔ ترازو که فندق شکن در آن قرار دارد، پائین می‌آید یا بالا میرود و یا در حال تعادل باقی میماند؟

حالا که شما میدانید که جسم در حال سقوط وزن ندارد، میتوانید از پیش به این سئوال جواب درست بدهید: کفهٔ ترازو باید برای یک لحظه بالا برود.

واقعاً هم، دستهٔ بالائی فندق شکن ضمن سقوط، گرچه به دستهٔ پائینی متصل است اما کمتر از حالت سکون بر آن فشار می‌آورد، و طبیعی است که کفه ترازو بالا میرود.

---

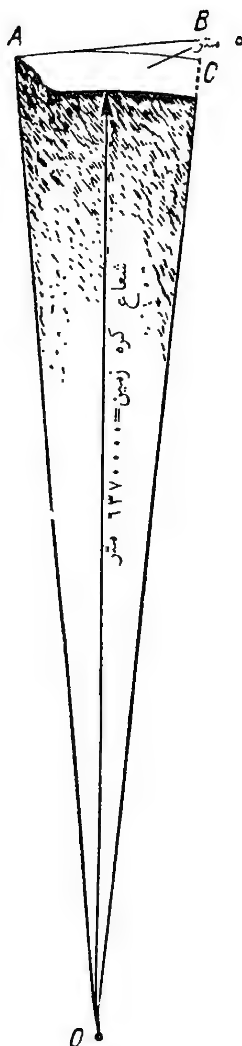
* در اثر «استدلالات ریاضی مربوط به دو رشته علم جدید». در سال ۱۹۳٤ ترجمه کامل روسی این اثر کم نظیر منتشر شد.

** بدون آنکه نیزه را از دست رها کنیم. (پرلمان)

در سالهای ۱۸۶۰ — ۱۸۷۰ در فرانسه رمان تخیلی ژول ورن بنام «سفر به ماه» منتشر شد. در این رمان فکر خارق‌العاده‌ای در مورد فرستادن یک گلولهٔ عظیم واگن‌مانند توپ با سرنشینان زنده به ماه مطرح شده است. ژول ورن نقشهٔ خود را بقدری شبیه به حقیقت مطرح ساخته بود که، لابد، برای اکثر خوانندگان این سئوال پیش می‌آمد: آیا ممکن نیست به این فکر جامهٔ عمل پوشاند؟ بد نیست در این مورد چند کلمه‌ای بگوئیم.*

ابتدا بررسی میکنیم که آیا ممکن است — حتی از نظر تئوری — با توپ طوری تیراندازی کرد که گلوله هرگز به عقب برنگردد و به زمین نیافتد؟ این کار از نظر تئوری ممکن است. واقعا هم، چرا گلوله‌ای که بطور افقی با توپ پرتاب شده است، بالاخره به زمین می‌افتد؟ زیرا زمین ضمن جذب گلوله خط سیر آن را کج میکند. گلوله نه بخط مستقیم، بلکه روی خط منحنی‌ای که بسوی زمین متمایل است، حرکت میکند. باین دلیل دیر یا زود به سطح زمین برمیخورد. البته، سطح زمین نیز منحنی است، اما انحناء خط سیر گلواه بمراتب بیش از انحناء سطح زمین است. اگر انحناء خط سیر گلوله را کم کنیم و آن را با انحناء سطح زمین برابر سازیم، در آنصورت چنین گلوله‌ای هرگز نمیتواند روی زمین بیافتد. این گلوله روی محیط دایره‌ای که با سطح کرهٔ زمین هم مرکز است، حرکت خواهد کرد، بعبارت دیگر، بصورت ماهواره زمین در خواهد آمد.

چگونه میتوان موفق شد که گلوله‌ای که با توپ پرتاب میشود روی خط منحنی‌ای با انحناء کمتر از انحناء سطح زمین حرکت کند؟ برای رسیدن به این هدف فقط باید به گلوله سرعت کافی داد. به شکل ۲۰ که مقطع قسمتی از کره زمین را نشان میدهد، توجه کنید. روی کوهی که ارتفاع آن را بحساب نمی‌آوریم، در نقطه A توپی قرار دار. اگر جاذبه زمین وجود نداشت، گلوله‌ای که با این توپ پرتاب میشد، پس از یک ثانیه در نقطه B میبود. اما جاذبه زمین وضع را تغییر میدهد و گلوله تحت تأثیر نیروی جاذبهٔ زمین پس از یک ثانیه نه در نقطهٔ B بلکه ۵ متر پائین‌تر، یعنی در نقطهٔ C خواهد بود. پنج متر مسافتی است که هر جسم در



شکل ۲۰ — محاسبه سرعت گلوله‌ای که باید برای همیشه زمین را ترک کند.

* حالا پس از پرتاب ماهواره های مصنوعی و نخستین موشک‌های کیهان پیما میتوانیم بگوئیم که برای مسافرت‌های فضائی از موشک استفاده میشود، نه از گلوله توپ. اما حرکت موشک پس از پایان کار آخرین طبقه آن، تابع همان قوانینی است که گلوله توپ میباشد. باین دلیل گفتهٔ مؤلف کهنه نشده است. (هیأت تحریریه)

حال سقوط آزاد (در خلاء) تحت تأثیر نیروی ثقل در نزدیک سطح زمین در نخستین ثانیه می‌پیماید. اگر گلولهٔ ما پس از این ٥ متر سقوط، از سطح زمین درست همانقدر ارتفاع داشته باشد که در نقطه A داشته است، در آنصورت معلوم میشود که روی منحنی هم مرکز با سطح کرهٔ زمین حرکت میکند.

کافی است خط AB (ش ٢٥)، یعنی مسافتی را که گلوله در یک ثانیه روی خط افقی می‌پیماید، حساب کنیم. آنوقت میفهمیم که گلوله را با چه سرعتی در ثانیه از دهانهٔ توپ پرتاب کنیم تا به مقصود خود نائل آئیم. این محاسبه از روی مثلث قائم الزاویه OAB کار آسانی است. در این مثلث OA شعاع کرهٔ زمین (در حدود ٦٣٧٠٠٠٠ متر)، OC=OA، BC=٥ متر، پس OB=٦٣٧٠٠٠٥ متر است. از اینجا طبق قضیه فیثاغورث خواهیم داشت:

$$(AB)^{2}=(6\,370\,005)^{2}-(6\,370\,000)^{2}$$

با محاسبه این فرمول می بینیم که AB تقریبا مساوی ٨ کیلومتر است.

بدین ترتیب، اگر هوا که بشدت مانع حرکت سریع میشود وجود نداشته باشد، گلوله‌ای که با سرعت ٨ کیلومتر در ثانیه روی خط افقی پرتاب شود هرگز به زمین نمی‌افتد، بلکه، مانند ماهواره، تا ابد به دور زمین میگردد.

حالا اگر گلوله را با توپ با سرعت باز هم بیشتر پرتاب کنیم، گلوله به کجا خواهد رفت؟ در مکانیک نجومی ثابت میشود که هرگاه گلوله با سرعت ٨ یا ٩ یا حتی ١٠ کیلومتر در ثانیه از دهانه لولهٔ توپ پرتاب شود، باید بشکل بیضی دور کرهٔ زمین بگردد. ضمناً هر چه سرعت اولیه بیشتر باشد، این بیضی کشیده تر خواهد بود. چنانچه سرعت گلوله بیش از ١١/٢ کیلومتر در ثانیه باشد، گلوله منحنی نامسدودی بنام شلجمی رسم خواهد کرد که همیشه از زمین دور میشود. (ش ٢٦)

بنا بر این مشاهده میشود که از نظر تئوری پرواز به ماه در داخل گلوله‌ای که با سرعت بحد کافی زیاد پرتاب شود امکان‌پذیر است.*

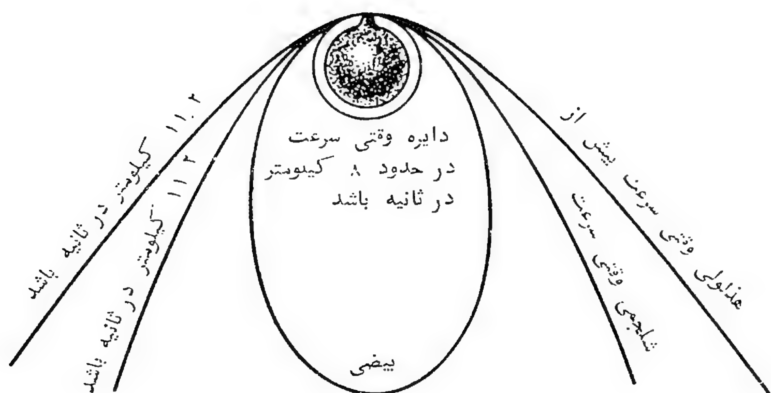
(استدلالات بالا بفرض اتمسفری که در برابر حرکت گلوله ممانعت بوجود نیاورد، صورت گرفت. اما در شرایط واقعی، وجود مقاومت هوا رسیدن باین هدف‌ها را فوق‌العاده دشوار و شاید غیر ممکن میسازد).

ژول ورن چطور مسافرت به ماه را توصیف کرده است و این مسافرت چگونه میبایست صورت بگیرد

برای کسانی که رمان فوق‌الذکر ژول ورن را خوانده‌اند، آن لحظهٔ جالب مسافرت که گلوله از نقطه‌ای میگذشت که جاذبه زمین و ماه برابر میباشد، فراموش‌نشدنی است. در آنجا حادثه‌ای واقعاً افسانوی روی داد: تمام اجسام داخل گلولهٔ توپ وزن خود را از دست دادند و خود سرنشینان با یک پرش کوچک، بدون تکیه‌گاه در هوا معلق میماندند.

---

* اما در اینجا ممکن است اشکالات کاملا ویژه‌ای پیش بیاید. این مسأله در کتاب دوم «فیزیک برای سرگرمی» و نیز در کتاب دیگر اینجانب «مسافرت‌های بین کرات» بطور مشروحتر بررسی میشود.



شکل ۲۶ ــ سرنوشت گلوله‌ای که با سرعت اولیه ۸ کیلومتر در ثانیه و بیش از آن با توپ پرتاب شود.

این صحنه کاملا درست توصیف شده است، اما ژول ورن از نظر دور داشته است که این منظره میبایست هم قبل و هم بعد از عبور از نقطهٔ با جاذبهٔ برابر، نیز مشاهده شود. به آسانی میتوان ثابت کرد که سرنشینان گلوله و همهٔ اشیأ داخل آن از نخستین لحظهٔ پرواز آزاد باید بی‌وزن بشوند.

این مطلب باورنکردنی بنظر می‌آید، اما من یقین دارم که الساعه تعجب خواهید کرد چرا خود شما قبلا متوجه سهو باین بزرگی نشده‌اید.

یک صحنه از رمان ژول ورن را بازگو میکنیم. بیشک، فراموش نکرده اید که چطور مسافران لاشهٔ سگ را بیرون انداختند و چگونه با حیرت و تعجب دیدند که لاشه به زمین نمی‌افتد، بلکه همراه گلولهٔ توپ همانطور بسرعت پیش میرود. نویسنده این پدیده را بدرستی توصیف کرده و صحیح توضیح داده است. واقعاً هم، بطوریکه میدانید، اجسام در خلأ با سرعت یکسانی سقوط میکنند. جاذبهٔ زمین به تمام اجسام شتاب یکسانی میدهد. در این مورد معین، هم گلولهٔ توپ و هم لاشهٔ سگ میبایست تحت تأثیر جاذبهٔ زمین سرعت سقوط یکسانی (شتاب یکسانی) داشته باشند، بعبارت صحیحتر، سرعتی که هنگام به پرواز درآمدن از دهانهٔ لولهٔ توپ به آنها داده شده بود، میبایست تحت تأثیر قوهٔ ثقل بطور یکسانی کم شود. بنا بر این، سرعت گلولهٔ توپ در هر نقطه از خط سیر میبایست با سرعت جسد مساوی باشد. باین دلیل بود که وقتی جسد سگ را از گلوله بیرون انداختند، همانطور بدنبال گلوله حرکت میکرد و ذره‌ای از آن عقب نمیماند.

اینجاستکه پی میبریم نویسنده به چه مسأله‌ای نیاندیشیده بود: در صورتیکه جسد سگ در خارج از گلولهٔ توپ سقوط نمیکند، پس چرا در داخل آن باید سقوط کند؟ آخر، هم در خارج و هم در داخل نیروهای یکسانی روی آن تأثیر میکنند. لاشهٔ سگ که در درون گلولهٔ توپ بدون تکیه‌گاه قرار دارد، باید در فضای داخل گلوله معلق بماند، سرعت آن با سرعت گلولهٔ توپ کاملا مساوی است، پس لاشه نسبت به گلوله بیحرکت باقی میماند.

آنچه در مورد لاشهٔ سگ صحیح است، برای بدن سرنشینان و بطور کلی برای همهٔ اشیاء داخل گلولهٔ توپ صحیح میباشد، یعنی در هر نقطهٔ خط سیر سرعت آنها با سرعت گلولهٔ توپ برابر است. بنا بر این وقتی حتی بدون تکیه‌گاه میمانند، نباید بیافتند. صندلی‌ای را که در کف گلولهٔ در حال پرواز جای دارد، میتوان بطور واژگون در سقف آن جای داد، و صندلی «پائین» نخواهد افتاد، زیرا همراه سقف به حرکت خود به جلو ادامه خواهد داد. مسافر میتواند روی این صندلی بنشیند، طوری که سرش بطرف پائین باشد و بدون ذره‌ای احساس افتادن به کف گلوله، همانطور در جای خود باقی بماند. چه نیروئی میتواند او را مجبور به افتادن کند؟ آخر، اگر او بیافتد، یعنی به کف گلولهٔ توپ نزدیک شود، در واقع بمعنای آنستکه گلوله در فضا سریعتر از سرنشین حرکت میکند. (در غیر اینصورت صندلی به کف گلوله نزدیک نمیشد). اما این کار ممکن نیست، زیرا ما میدانیم که همهٔ اشیاء داخل گلوله دارای همان شتابی هستند که خود گلوله دارد.

ژول ورن متوجه این مطلب نشده بود. او خیال میکرد که اشیاء داخل گلوله‌ای که بطور آزاد در حرکت است، فقط تحت تأثیر نیروهای جاذبه میباشند و مانند زمانی که گلولهٔ توپ بیحرکت بود، همانطور به سطح اتکاء خود فشار خواهند آورد. نویسنده از نظر دور داشته بود که وقتی هم جسم و هم تکیه‌گاه آن با شتاب یکسانی که تحت تأثیر نیروهای جاذبه کسب کرده‌اند، در فضا حرکت میکنند (سایر نیروهای خارجی — نیروی ثقل، نیروی مقاومت هوا — وجود ندارند) نمیتوانند بر یکدیگر فشار وارد آورند.

بدین ترتیب، از آن لحظهٔ مسافرت که تأثیر نیروی گازها بر روی گلولهٔ توپ قطع شد، سرنشینان گلوله هیچ وزنی نداشتند و میتوانستند بطور آزاد در هوای داخلی گلوله معلق بمانند و دور بزنند. کلیهٔ اشیاء داخل گلوله نیز میبایست درست همینطور کاملا بی‌وزن بنظر بیایند. سرنشینان گلوله از روی این نشانه بآسانی میتوانستند تعیین کنند که در فضا پرواز میکنند یا همانطور بیحرکت در داخل توپ مانده‌اند. اما ژول ورن در رمان خود شرح میدهد که چطور مسافران در نخستین نیم ساعت مسافرت آسمانی خویش میکوشیدند بفهمند: آیا پرواز میکنند یا نه؟ و هر چه فکر میکردند، نمیتوانستند به این سئوال جواب بدهند.

«— نیکل، آیا ما حرکت میکنیم؟

نیکل و آردان به هم نگاه کردند، آنها نوسان گلولهٔ توپ را حس نمیکردند.

آردان تکرار کرد:

— واقعا، آیا ما حرکت میکنیم؟

نیکل پرسید:

— یا روی زمین فلوریدا آرام دراز کشیده‌ایم؟

میشل افزود:

— یا در کف خلیج مکزیک؟».

اینگونه شک و تردیدها برای سرنشینان کشتی ممکن است، اما برای سرنشینان گلوله‌ای که بطور آزاد پرواز میکند، معقول نیست، زیرا سرنشینان کشتی وزن خود را حفظ میکنند، اما سرنشینان گلوله ممکن نیست متوجه نشوند که بکلی بی وزن شده‌اند.

این گلولهٔ واگن‌مانند تخیلی میبایست پدیده عجیبی را مجسم کند. جهان بسیار کوچکی که

در آن اجسام وزن ندارند و اگر آنها را در هوا رها کنی آرام و بیحرکت در جای خود باقی میمانند، اشیاء در هر حالتی که باشند تعادل خود را حفظ میکنند، آب از بطری واژگون شده نمیریزد...
ژول ورن هیچیک از این پدیده‌ها را در نظر نگرفته بود، در صورتیکه این امکانات حیرت‌انگیز میتوانست میدان پهناوری برای تخیلات نویسنده فراهم آورد.*

درست وزن کردن با ترازوئی که درست نیست

برای درست وزن کردن چه چیز مهمتر است: ترازو یا وزنه؟
اگر بگوئید هر دو بیک اندازه مهم است اشتباه کرده‌اید، زیرا اگر وزنه‌های درست در اختیار داشته باشید، با ترازوئی هم که درست نباشد، میتوانید درست وزن کنید. برای درست وزن کردن با ترازوئی که درست نیست چند راه وجود دارد. دو راه از این راهها را بررسی میکنیم.
راه اول راهی استکه از طرف مندله‌یف شیمی‌دان بزرگ روسی پیشنهاد شده است. اول در یک کفه ترازو باری میگذارند. این بار هر چه باشد تفاوت ندارد، فقط باید از جسمی که میخواهند وزن کنند سنگینتر باشد. در کفه دیگر ترازو آنقدر وزنه میگذارند تا توازن برقرار شود. بعد جسمی را که میخواهند وزن کنند در کفه‌ای که وزنه‌ها قرار دارد میگذارند و آنقدر از وزنه‌ها برمیدارند تا از نو توازن برقرار شود. روشن است که وزن وزنه‌های برداشته شده با وزن جسم برابر است، زیرا حالا جسم در همان کفه بجای وزنه‌های برداشته شده قرار گرفته است، پس وزن آنها با وزن جسم مساوی است.
این راه که آن را راه «بار ثابت» مینامند، بخصوص وقتیکه باید چند جسم را پشت سر هم وزن کرد، بسیار مناسب است. بار اولیه ثابت میماند و از آن برای وزن کردن همهٔ جسم‌ها استفاده میشود.
راه دوم، بنام دانشمندی که آن را پیشنهاد کرده است، «راه بورد» نامیده میشود و بطریق زیر اجرا میگردد: جسمی را که میخواهند وزن کنند در یک کفهٔ ترازو میگذارند، در کفهٔ دیگر آنقدر شن یا ساچمه میریزند تا توازن برقرار شود. بعد جسمی‌را که میخواهند وزن کنند از کفهٔ ترازو برمیدارند (به شن‌ها دست نمیزنند) و بجای آن آنقدر وزنه میگذارند تا از نو توازن برقرار شود. روشن است که حالا وزن وزنه‌ها با وزن جسمی که در آن کفه بوده است، برابر میباشد. چون در این راه جسم را از کفه ترازو برمیدارند و عوض آن وزنه میگذارند، این راه را راه «تعویض» نیز میگویند.
این راه ساده برای ترازوهای فنری که فقط یک کفه دارند نیز قابل استفاده است، بشرط آنکه مقداری وزنهٔ درست در اختیار داشته باشید. در اینجا دیگر احتیاجی به شن یا ساچمه نیست. جسم

---

* حالا از گفته‌های فضانوردان شوروی و امریکائی و از فیلمهائی که در فضا برداشته شده شرایط کار و زندگی در حالت بی‌وزنی بخوبی معلوم است. بسیاری از خوانندگان هنگام پخش مستقیم تلویزیونی از سفینه‌های فضائی شوروی، پدیده‌های حالت بی وزنی را روی صفحهٔ تلویزیون‌های خود دیده‌اند. کتاب خایکین «نیروهای اینرسی و بی‌وزنی»، بنگاه نشریات «نائوکا» سال ۱۹۶۷، و کتاب لوانتوفسکی «ثقل، بی‌وزنی، فرابار» بنگاه نشریات «ازنانیه» سال ۱۹۶۵ به بررسی ویژه مسألهٔ بی وزنی تخصیص داده شده است. (هیأت تحریریه)

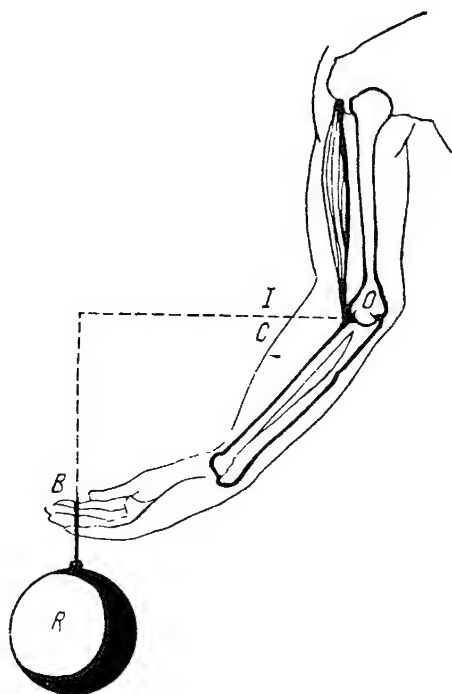
را در کفهٔ ترازو بگذارید و ببینید شاخص روی کدام درجه می‌ایستند. بعد جسم را بردارید و آنقدر وزنه در کفهٔ ترازو بگذارید تا شاخص از نو روی همان درجه بایستد. واضح است که وزن این وزنه‌ها با وزن جسمی که وزنه‌هارا بجای آن گذاشته‌اید مساوی میباشد.

نیرومندتر از خویش

چه باری میتوانید بلند کنید؟ فرض کنیم ۱۰ کیلوگرم. خیال میکنید این ۱۰ کیلوگرم نیروی عضلات دست شما را تعیین میکند؟ اشتباه میکنید، عضلات بمراتب نیرومندترند! برای مثال به عمل عضلهٔ دست که عضلهٔ دوسر نام دارد، توجه کنید (ش ۲۷). استخوان ساعد اهرمی است که عضلهٔ دوسر بازو به نزدیک نقطهٔ اتکاٴ آن وصل شده و بار به سر دیگر این اهرم زنده فشار می‌آورد. فاصلهٔ میان بار و نقطهٔ اتکاٴ اهرم، یعنی مفصل آرنج، تقریباً ۸ برابر فاصلهٔ میان انتهای عضله و نقطهٔ اتکاٴ میباشد. بنا بر این اگر بار ۱۰ کیلوگرم باشد، عضله با نیروی ۸ برابر آن کشیده میشود. عضله که در این حالت نیرویش به ۸ برابر نیروی دست ما میرسد، بدون اهرم میتوانست نه ۱۰ کیلوگرم، بلکه ۸۰ کیلوگرم بلند کند.

ما میتوانیم بدون اغراق بگوئیم که هر آدم بمراتب از خودش نیرومندتر است، یعنی عضلات ما نیروئی بمراتب بیشتر از آنچه در حرکات ما ظاهر میشود، انجام میدهند.

آیا اینگونه ساختمان بدن مناسب و مفید است؟ در نظر اول، مثل اینکه نه، زیرا می بینیم که در اینجا مقداری نیرو تلف میشود و بهیچوجه جبران نمیگردد. اما بیائید «قانون زرین» مکانیک را که از قدیم‌الایام معروف است، بیاد بیاوریم: آنچه را در صرف نیرو از دست میدهیم در تغییر مکان بدست می‌آوریم. در اینجا نیز سرعت بیشتری بدست می‌آوریم، دست‌های ما ۸ بار سریعتر از عضلاتی که آنهارا بحرکت در می آورند، حرکت میکنند. طرز اتصال عضلات را که ما



شکل ۲۷ — ساعد انسان اهرم نوع دوم است (در شکل با حرف C نشان داده شده). نیروی محرکه بر نقطه I وارد می‌آید. نقطه اتکاٴ اهرم در نقطه O مفصل قرار دارد. فشاری که عضله در برابر آن مقاومت میکند (بار R) بر نقطه B وارد می‌آید. طول BO تقریباً ۸ برابر IO میباشد. (تصویر از اثر بورلی دانشمند قرن ۱۷ میلادی، از اهالی فلورانس، بنام «در باره حرکت حیوانات» اقتباس شده است. در این اثر قدیمی برای نخستین بار قوانین مکانیک بر فیزیولوژی تطبیق شده است).

در بدن حیوانات مشاهده میکنیم، موجب چابکی حرکت دست و پا میشود، این چابکی برای تنازع بقاء از نیرو مهمتر است. اگر ساختمان دست و پای ما طبق این اصل نبود، ما موجوداتی فوق‌العاده کند حرکت میبودیم.

چرا اشیاء نوک‌تیز بآسانی فرو میروند؟

آیا به این مسأله فکر کرده‌اید که چرا سوزن بآسانی چیزهای مختلف را سوراخ میکند؟ چرا سوراخ کردن ماهوت یا مقوا با سوزن نازک آسان و با میخ نوک‌پهن مشکل است؟ ظاهراً در هر دو مورد مقدار مساوی نیرو بکار میرود.

نیرو مساوی است، اما با وجود این فشار مساوی نیست. در مورد اول تمام نیرو در نوک نیز سوزن متمرکز میشود. در مورد دوم همان نیرو در سطح زیاد نوک میخ پخش میگردد. بنا بر این در صورتیکه دست ما سوزن و میخ را با نیروی یکسانی بفشارد، فشار سوزن بمراتب بیشتر از فشار میخ نوک پهن است. همه میگویند مازوئی که ۲۰ دندانه دارد، از مازوئی بهمان وزن که ۶۰ دندانه دارد، خاک را در عمق بیشتری نرم میکند. چرا؟ زیرا بار روی هر دندانه در مورد اول بیش از مورد دوم است.

وقتی از فشار صحبت میشود، همیشه باید علاوه بر نیرو، سطحی را که نیرو بر آن وارد می‌آید نیز در نظر گرفت. وقتی به ما میگویند فلان آدم ۱۰۰۰ روبل حقوق میگیرد، ما هنوز نمیدانیم این مقدار زیاد است یا کم، باید دانست در یک ماه یا یک سال. عمل نیرو نیز عیناً همینطور، بسته به آنستکه آن نیرو در یک سانتیمتر مربع تقسیم میشود یا در یک صدم میلیمتر مربع متمرکز میگردد. آدم با اسکی روی برف نرم راه میرود، اما بی‌اسکی توی برف فرو میرود. چرا؟ زیرا در مورد اول فشار بدن او در سطح بمراتب بیشتری تقسیم میشود، تا در مورد دوم. اگر سطح اسکی مثلا ۲۰ برابر سطح کف کفش ما باشد، در آنصوت فشاری که بدن ما با اسکی بر برف وارد می‌آورد، ۲۰ بار ضعیف تر از فشاری است که با کفش بدون اسکی وارد می‌آورد. برف نرم در برابر فشار مورد اول مقاومت میکند، اما در برابر فشار مورد دوم نمیتواند مقاوت کند.

بهمین دلیل زیر سم اسب‌هائی که در باطلاق کار میکنند، «کفش‌های» مخصوصی می‌بندند تا سطح اتکاء پاهای آنها را زیاد و باین وسیله فشار بر زمین باطلاقی را کم کنند. در اینصورت پای اسب در باطلاق فرو نمیرود. آدم‌ها نیز در برخی جاهای باطلاقی همین کار را میکنند.

آدمها روی یخ نازک خزیده میروند تا وزن بدن خودرا بر سطح بیشتری تقسیم کنند.

بالاخره، علت اینکه تانک‌ها و تراکتورهای شنیل‌دار با وجود وزن زیاد در زمین نرم فرو نمیروند، اینستکه وزن آنها بر سطح اتکاء بزرگی تقسیم میشود. ماشین شنیل‌دار بوزن ۸ تن و حتی بیش از آن، بر هر سانتیمتر مربع بیش از ۶۰۰ گرم فشار وارد نمی‌آورد. اتوسبیل‌های شنیل‌دار که برای حمل و نقل بار در باطلاق‌ها بکار میروند، از این نقطه نظر خیلی جالبند. این نوع اتوسبیل‌ها مثلا وقتی ۲ تن بار میبرند، بر هر سانتیمتر مربع زمین بیش از ۱۶۰ گرم فشار وارد نمی‌آورند و باین دلیل در زمینهای باطلاقی و شن زارها بخوبی حرکت میکنند.

در این موارد سطح اتکاء بزرگ از نظر فنی بهمان اندازه مناسب و مفید است که در مورد سوزن سطح اتکاء کوچک مناسب و مفید میباشد.

بنا بر آنچه گفته شد، اشیاء نوک تیز فقط در نتیجهٔ سطح بسیار کوچکی که عمل نیرو بر آن تقسیم میشود، براحتی فرو میروند و سوراخ میکنند. درست بهمین دلیل استکه کارد تیز بهتر از کارد کند می برد، زیرا نیرو در سطح کمتری متمرکز میشود.

بدین ترتیب، اشیاء تیز باین دلیل خوب سوراخ میکنند و خوب می‌برند که در نوک تیز یا لبه تیز آنها فشار زیادی متمرکز میشود.

مانند لویاتان*

چرا وقتی روی چهارپایه معمولی می‌نشینیم احساس میکنیم که سفت است، اما وقتی روی صندلی که آنهم چوبی است می‌نشینیم اصلا چنین احساسی نمیکنیم؟ چرا وقتی روی هاماکی که از نخهای نرم [illegible] است؟ چرا وقتی روی تور سیمی که بجای دوشک [illegible] در [illegible] احساس نمیکنیم که سفت است؟

فهم این مطلب مشکل نیست. نشیمن‌گاه چهارپایهٔ معمولی مستوی است. بدن ما فقط در سطح کوچکی با آن تماس می‌یابد و تمام وزن بالاتنه روی آن متمرکز میشود. اما نشیمن‌گاه صندلی مقعر است و در سطح بیشتری با بدن ما تماس میبابد و وزن بالاتنه بر این سطح تقسیم میشود، بنا بر این روی هر واحد سطح بار کمتر و در نتیجه فشار کمتری وارد می آید.

بدین ترتیب اصل مسأله در اینستکه فشار بطور مناسب‌تری تقسیم میشود. وقتی ما روی دوشک نرمی دراز میکشیم در آن فرورفتگی‌هائی متناسب با برآمدگی‌های بدن ما بوجود می‌آید. در این حالت فشار وارد بر سطح پائینی بدن تقریبا یکنواخت تقسیم میشود، بطوریکه بر هر سانتیمتر مربع فقط چند گرم فشار وارد می‌آید. تعجب‌آور نیست که ما در این حالت احساس نرمی میکنیم.

این تفاوت‌را بآسانی میتوان با عدد نشان داد. سطح بدن یک انسان بالغ در حدود ۲ متر مربع یا ۲۰۰۰۰ سانتیمتر مربع است. فرض کنیم وقتی روی تختخواب دراز میکشیم تقریبا $\frac{1}{4}$ سطح بدن ما، یعنی ۰/۵ متر مربع یا ۵۰۰۰ سانتیمتر مربع روی دوشک قرار میگیرد و با آن تماس پیدا میکند. وزن بدن انسان بطور متوسط در حدود ۶۰ کیلوگرم یا ۶۰۰۰۰ گرم است. بنا بر این بر هر سانتیمتر مربع فقط باندازه ۱۲ گرم فشار وارد می‌آید. اما وقتی روی تخته‌های بدون دوشک دراز میکشیم، فقط نقاط کوچکی از بدن ما که سطح کل آنها در حدود ۱۰۰ سانتیمتر مربع است، با سطح تخته تماس پیدا میکند. بنا بر این بر هر سانتیمتر مربع نه در حدود ۱۰ گرم، بلکه نیم کیلوگرم فشار وارد می‌آید. ملاحظه میکنید که تفاوت از زمین تا آسمان است، ما فوراً این تفاوت را حس میکنیم و میگوئیم که «بسترمان سفت است».

اما اگر فشار بر سطح بزرگ بطور یکسان تقسیم شود، ممکن است حتی روی سفت‌ترین بستر احساس سفتی نکنیم. فرض کنید که روی گل نرمی دراز کشیده‌اید، شکل خارجی بدن شما روی گل

---

*لویاتان که معرب آن «لاویثان» میباشد، نام جانور افسانوی است که در کتاب مقدس مذهبی موسوم به «کتاب عهد عتیق» از آن نام برده شده است. این نام را در باره آدم زورمند و عظیم‌الجثه نیز استعمال میکنند. (مترجم)

نقش می‌بندد. بعد، از روی گل برمیخیزید و میگذارید گل بهمان شکل خشک شود (گل ضمن خشک شدن ۵ تا ۱۰ درصد منقبض میشود، اما فرض میکنیم که این عمل صورت نگیرد). وقتی گل با نقشی که از بدن شما روی آن مانده است، مثل سنگ سفت شد، باز هم روی آن بخوابید، بطوری که بدنتان در این قالب سنگی قرار گیرد. آنوقت با اینکه بمعنای واقعی کلمه روی سنگ خوابیده اید، احساس سفتی نمیکنید و مثل آنستکه روی دوشک پر قو خوابیده‌اید. شما شبیه لویاتان افسانوی میشوید که لومونوسف در اشعار خود توصیف کرده است:

همی خوابد بروی سنگ نوک‌تیز
نبیند سفتی و سختی در آن جای
به نیروی عظیم و استوارش
شمارد سنگ خارا را گل و لای

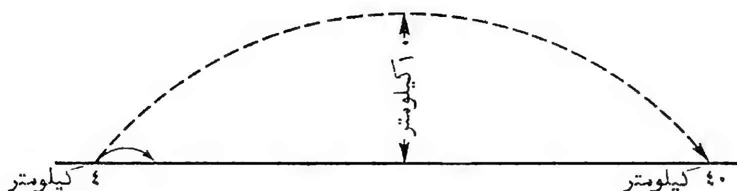
اما دلیل اینکه شما سفتی بستر را احساس نمیکنید، نه «نیروی عظیم و استوار»، بلکه تقسیم وزنتان بر سطح اتکا ٔ بسیار بزرگی میباشد.

فصل سوم

مقاومت محیط

گلوله و هوا

همه میدانند که هوا در برابر پرواز گلوله مقاومت میکند، اما فقط عده کمی میتوانند بطور وضوح مجسم کنند که این مقاومت ترمزکننده تا چه حد زیاد است. اکثریت مردم فکر میکنند که محیط لطیفی مانند هوا که ما معمولا حتی آن را حس نمیکنیم، نمیتواند بطور محسوسی مانع پرواز سریع گلولهٔ تفنگ بشود.



شکل ۲۸ — پرواز گلوله در خلاء و در هوا. قوس بزرگ راهی را نشان میدهد که اگر هوا وجود نمیداشت گلوله می‌پیمود. قوس کوچک سمت چپ راهی است که گلوله در هوا واقعاً می‌پیماید.

اما به شکل ۲۸ نظر بیاندازید، آنوقت می‌فهمید که هوا برای گلوله مانعی فوق‌العاده جدی میباشد. در این شکل قوس بزرگ راهی را نشان میدهد که اگر هوا وجود نداشت، گلوله می‌پیمود. گلوله‌ای که با زاویهٔ ٤٥ درجه و سرعت اولیهٔ ٦٢٠ متر در ثانیه از لولهٔ تفنگ بیرون بیاید، قوس بسیار بزرگی به ارتفاع ۱۰ کیلومتر رسم می‌کرد و مسافتی در حدود ٤٠ کیلومتر می‌پیمود. اما در واقع، گلوله با همین شرایط قوس نسبتا کوچکی رسم میکند و مسافتی در حدود ٤ کیلومتر می‌پیماید. این قوس که در شکل ۲۸ نشان داده شده، در پهلوی قوس اولی تقریباً به چشم نمیخورد. اینست نتیجه عکس‌العمل هوا! اگر هوا نمیبود می‌توانستیم بارانی از گلوله به ارتفاع ۱۰ کیلومتر بلند کنیم و از مسافت ٤٠ کیلومتری بر سر دشمن بریزیم.

تیراندازی با برد فوق‌العاده زیاد

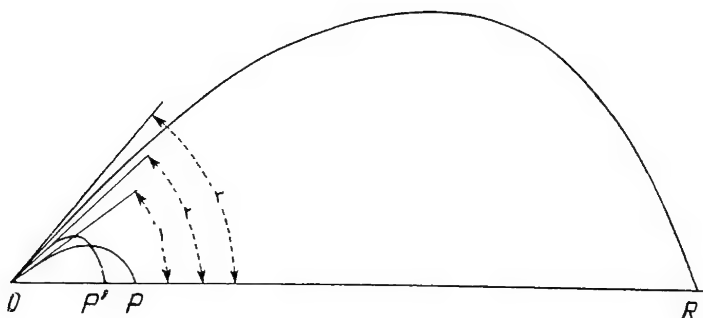
در اواخر جنگ جهانی اول سال ۱۹۱۸ موفقیت‌های نیروهای هوائی فرانسه و انگلیس به حمله‌های هوائی آلمان پایان داد، توپخانه آلمان برای نخستین بار به گلوله باران کردن دشمن از مسافت صد کیلومتر و بیش از صد کیلومتر پرداخت. ستاد ارتش آلمان برای ضربه وارد آوردن بر پایتخت فرانسه که بیش از ۱۱۰ کیلومتر از جبهه دور بود، راهی غیر از حمله هوائی یعنی راه استفاده از توپخانه را برگزید.

این راه راهی بود کاملا تازه که تا آن زمان هیچکس آن را نیازموده بود. توپچی‌های آلمانی تصادفاً به این راه برخوردند. ضمن تیراندازی با توپ کالیبر بزرگ با زاویهٔ زیاد بطور غیر منتظره معلوم شد که برد تیر بجای ۲۰ کیلومتر به ۴۰ کیلومتر میرسد. معلوم شد گلوله‌ای که با زاویهٔ زیاد و با سرعت اولیهٔ زیاد پرتاب شود، به قشرهای بالائی رقیق اتمسفر میرسد که در آنجا مقاومت هوا بسیار کم است. گلوله قسمت زیادی از خط سیر خود را در چنین محیطی با مقاومت کم می‌پیماید و سپس با زاویه زیاد به زمین فرود می‌آید. در شکل ۲۹ بطور وضوح دیده میشود که با تغییر زاویه تیر برد تیر، یعنی مسافتی که گلوله می‌پیماید چقدر زیاد تغییر میکند.

آلمانی‌ها همین مشاهده را پایه و اساس طرح توپ بابرد فوق‌العاده زیاد برای گلوله‌باران کردن پاریس از مسافت ۱۱۵ کیلومتر قرار دادند. توپ را با موفقیت ساختند و در طی تابستان سال ۱۹۱۸ با آن بیش از سیصد گلوله بر روی پاریس انداختند.

اطلاعاتی که بعداً در باره این توپ بدست آمده بقرار زیر است:

این توپ لولهٔ عظیم پولادینی بود بطول ۳۴ متر و به کلفتی یک متر تمام، ضخامت بدنه لوله در قسمت خزانه ۴۰ سانتی‌متر و وزن توپ ۷۵۰ تن بود. طول گلوله‌های ۱۲۰ کیلوگرمی آن یک متر و



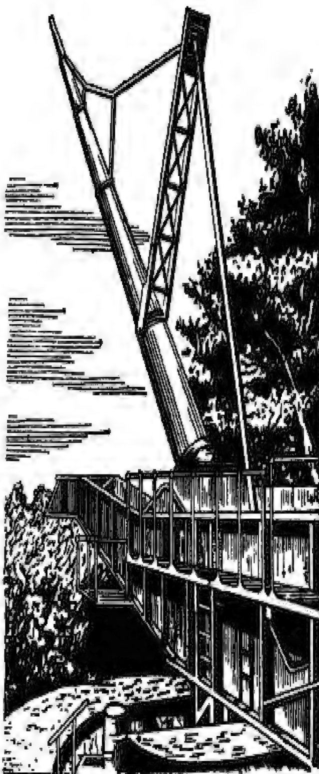
شکل ۲۹ — چگونگی برد تیر متناسب با تغییر زاویه تیر در توپ با برد فوق‌العاده زیاد. گلوله با زاویه تیر (۱) در نقطه P و با زاویه تیر (۲) در نقطه P′ فرود می‌آید، اما با زاویه تیر (۳) برد تیر یکباره چندین برابر میشود، زیرا گلوله به قشرهای رقیق آتمسفر میرسد.

3—266

کلفتی گلوله ۲۱ سانتی‌متر بود. خرج* توپ معادل ۱۵۰ کیلوگرم باروت بود. فشار داخل لوله به ۵۰۰۰ اتمسفر میرسید و سرعت اولیهٔ گلوله ۲۰۰۰ متر در ثانیه بود. تیراندازی با زاویهٔ ۵۲ درجه صورت میگرفت. گلوله قوس عظیمی رسم میکرد که بالاترین نقطهٔ آن در ارتفاع ۴۰ کیلومتر بالای سطح زمین یعنی در ارتفاعات بسیار زیاد ماوراءِ جو قرار داشت. گلوله خط سیر خود را از موضع توپ تا پاریس — ۱۱۵ کیلومتر — در مدت ۳/۵ دقیقه طی میکرد، دو دقیقه از این سه دقیقه و نیم را در ماوراءِ جو می‌پیمود.

نخستین توپ با برد فوق‌العاده زیاد، یعنی جد بزرگ توپ‌های با برد فوق‌العاده زیاد امروزی، چنین اعجوبه‌ای بوده است.

هر چه سرعت اولیهٔ گلوله بیشتر باشد مقاومت هوا نیز بیشتر است. مقاومت هوا متناسب با سرعت تغییر نمی‌یابد، بلکه، بسته به مقدار سرعت، متناسب با توان دو یا توان‌های بیشتر سرعت افزایش می‌یابد.



شکل ۳۰ — توپ آلمانی «کولوسال». نمای ظاهری.

چرا بادبادک کاغذی به هوا بلند میشود؟

آیا هرگز کوشیده‌اید بفهمید چرا وقتی نخ بادبادک کاغذی را به جلو میکشیم بادبادک بالا میرود؟

اگر بتوانید به این سؤال جواب بدهید، آنوقت می‌فهمید که چرا هواپیما پرواز میکند، چرا تخم‌های افرا در هوا حرکت میکنند و حتی میتوانید علت حرکات عجیب و غریب بومرانگ را تا حدودی بفهمید. همهٔ این پدیده‌ها از یک نوع هستند. همان هوائی که در برابر پرواز گلوله چنان مقاومت جدی میکند، برای پرواز نه فقط تخم افرا و بادبادک کاغذی سبک، بلکه برای پرواز هواپیمای سنگین با دهها سرنشین نیز شرایط فراهم می‌آورد.

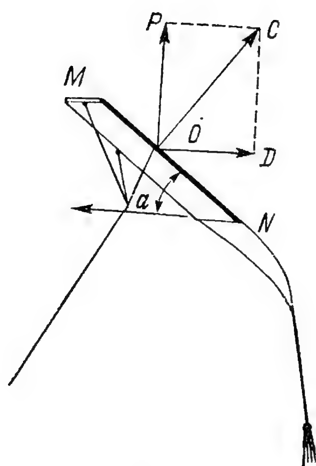
برای توضیح علت بالا رفتن بادبادک کاغذی لازم است رسم ساده‌ای بکشیم. فرض میکنیم خط MN (شکل ۳۱) مقطع بادبادک را نشان میدهد. وقتی بادبادک را هوا میکنیم و نخ آن را میکشیم، بادبادک بعلت سنگینی دنبالهٔ آن بطور مایل حرکت میکند. فرض میکنیم این حرکت از راست به چپ صورت میگیرد. زاویهٔ تمایل سطح بادبادک را با افق بوسیلهٔ زاویهٔ a نشان میدهیم. حالا ببینیم ضمن این حرکت چه نیروهائی روی بادبادک تأثیر میکنند. البته هوا در برابر حرکت بادبادک مقاومت میکند و بر آن فشاری وارد می‌آورد. این فشار در شکل ۳۱ بصورت بردار OC نشان داده شده است. از آنجا که هوا همیشه بطور عمودی بر سطح فشار وارد می‌آورد خط OC نسبت به خط MN با زاویه

---

* خرج — در اصطلاح توپخانه به مقدار باروتی گفته میشود که برای یک بار پر کردن توپ بکار میرود. (مترجم)

قائمه کشیده شده است. میتوان با ساختن متوازی‌الاضلاعی که متوازی‌الاضلاع نیروها نام دارد، نیروی OC را به دو نیرو تجزیه کرد. بدین ترتیب بجای نیروی OC دو نیروی OD و OP را بدست می آوریم. از این دو نیرو، نیروی OD بادبادک را به عقب میراند و در نتیجه از سرعت اولیه آن میکاهد. نیروی دیگر یعنی نیروی OP بادبادک را بالا میکشد و از وزن آن میکاهد و اگر باندازه کافی زیاد باشد، میتواند وزن بادبادک را از میان ببرد و آن را بلند کند. باین دلیل است که وقتی نخ بادبادک را میکشیم، بادبادک به هوا بلند میشود.

هواپیما نیز همان بادبادک است، با این تفاوت که بجای نیروی محرک دست ما نیروی محرک ملخ هواپیما یا موتور جت عمل میکند و هواپیما را به جلو میراند و در نتیجه هواپیما را، مانند بادبادک، بالا میبرد. در اینجا فقط شمای کلی پدیده داده شده است. عوامل دیگر نیز هست که موجب بالا رفتن هواپیما میشود، در بارهٔ این عوامل بعداً بحث خواهد شد.*



شکل ۳۱ — نیروهائی که روی بادبادک تأثیر میکنند.

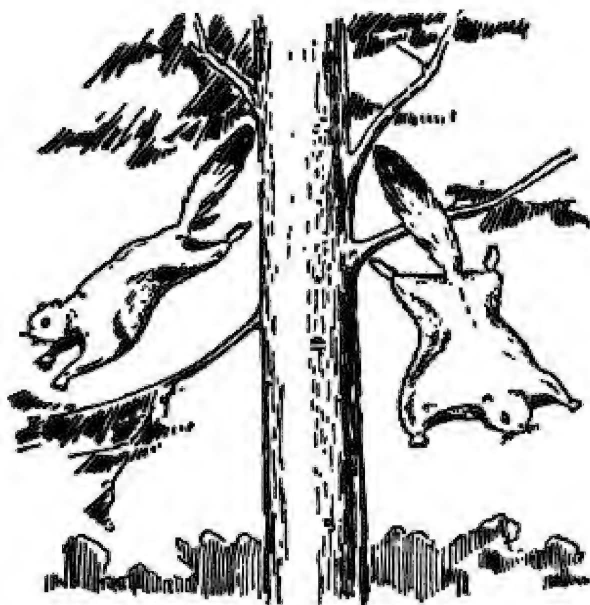
هواسرهای زنده**

ملاحظه میکنید که هواپیما بر خلاف آنچه معمولا فکر میکنند، مانند پرندگان ساخته نشده، بلکه بیشتر به سنجاب‌های پرنده و ماهی‌های پرنده و سایر این نوع حیوانات شباهت دارد. اما جانوران نامبرده از پرده‌های پرواز خود برای بلند شدن استفاده نمیکنند، بلکه فقط برای پرش‌های بزرگ و یا بقول خلبانان برای «سریدن بدون کار موتور» استفاده میکنند. در این جانوران نیروی OP (ش ۳۱) برای تعادل با وزن بدنشان کافی نیست. این نیرو فقط از وزن آنها میکاهد و در نتیجه کمک میکند که بتوانند از نقاط مرتفع پرش‌های بزرگ انجام دهند (ش ۳۲). سنجاب‌های پرنده از نوک یک درخت به شاخه‌های پائینی درخت دیگر پرش‌هائی بطول ۲۰ — ۳۰ متر انجام میدهند. در هند و در سیلان نوع بمراتب بزرگتری از سنجاب‌های پرنده بنام «تاگوآن» وجود دارد که به بزرگی گربه‌های ماست و وقتی «هواسر» خود را باز میکند پهنای آن به نیم متر میرسد. این پردهٔ پرواز بزرگ به این جانور امکان میدهد تا باوجود وزن نسبتا زیادش پرش‌هائی بطول در حدود ۵۰ متر انجام دهد. حیوان دیگری از این نوع که در جزایر زوند و فیلیپین زندگی میکند، پرش‌هائی بطول تا ۷۰ متر انجام میدهد.

---

* به کتاب دوم «فیزیک برای سرگرمی» مبحث «موج‌ها و گردبادها» مراجعه کنید.

** هواسر — کلمه‌ای است مرکب از «هوا» و ریشه فعل «سریدن» که بمعنای «هواپیمای بی موتور» یا planeur بکار میرود. (مترجم)



شکل ۳۲ — سنجاب‌های پرنده هنگام پرش. سنجاب‌های پرنده از نقاط مرتفع پرش‌هائی بطول ۲۰ — ۳۰ متر انجام میدهند.

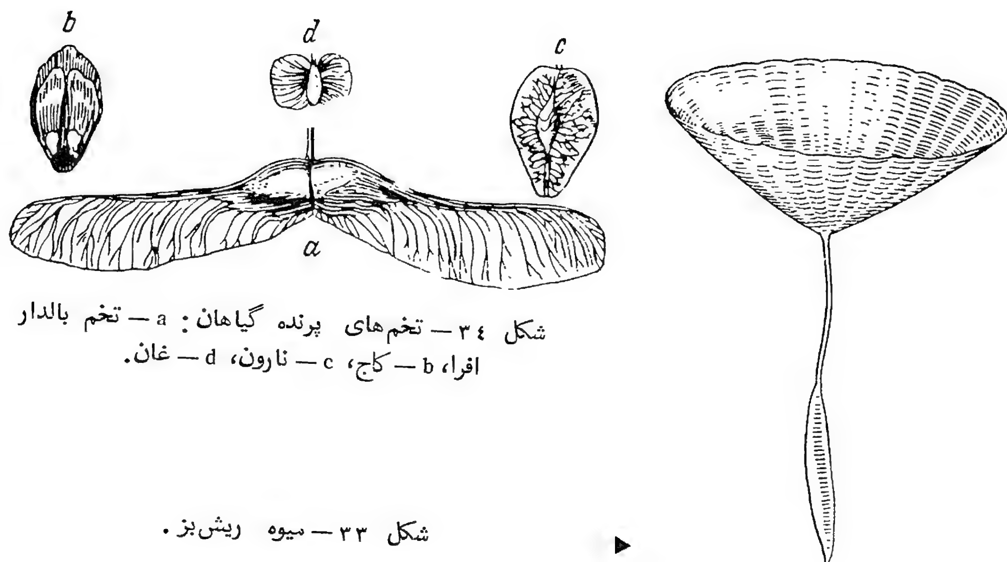
پرواز بدون موتور برخی از گیاهان

گیاهان نیز اغلب برای پخش میوه‌ها و تخم‌های خود از هواسر استفاده میکنند. میوه‌ها و تخم‌های بسیاری از گیاهان (از قبیل گل قاصدی، ریش‌بز و پنبه) یک دسته تار نازک دارند که مانند چتر نجات عمل میکند، بسیاری دیگر دارای جوانه‌ها و برآمدگی‌های مسطحی هستند که آنها را در هوا نگهمیدارند. میوه‌ها و تخم های درختان سوزن‌برگ، افرا، زبان گنجشک، غان، کولکی، زیرفون و بسیاری از گیاهان چتری نیز اینگونه هواسرهای گیاهی دارند.

کرنر فون ساریلان در کتاب معروف خود « زندگی گیاهان » مینویسد :

« بسیاری از میوه‌ها و تخم‌ها در روزهای آفتابی و بدون باد بوسیله جریان قائم هوا تا ارتفاعات زیادی بالا میروند، اما پس از غروب آفتاب معمولا از نو در همان نزدیکی فرود می‌آیند. اینگونه پروازها برای روئیدن گیاهان در برآمدگی‌ها و شکاف‌های سرازیری‌های تند و سنگلاخ‌های عمودی که تخم‌ها بطریق دیگری نمیتوانند آنجا بیافتند، مهمتر است تا برای پخش گیاهان در طول و عرض. اما جریان‌های افقی هوا تخم‌ها و میوه‌هائی را که در هوا در پروازند تا مسافت‌های زیاد می‌برند.

بال‌ها یا چترهای تخم‌های برخی از گیاهان فقط هنگام پرواز به تخم‌ها متصل میمانند. تخم‌های خارخسک به آرامی در هوا شناورند، اما همینکه به مانعی بربخورند تخم از چتر جدا میشود و به زمین می افتد. علت اینکه خارخسک در پای دیوارها و چپرها اینهمه زیاد میروید، همین است. تخم‌های برخی از گیاهان دیگر همیشه به چتر متصل میمانند ».



شکل ۳۴ — تخم‌های پرنده گیاهان: a — تخم بالدار افرا، b — کاج، c — نارون، d — غان.

شکل ۳۳ — میوه ریش‌بز.

در شکل ۳۳ و ۳۴ برخی میوه‌ها و تخم‌های دارای «هواسر» تصویر شده است. هواسرهای گیاهی از جهات بسیاری از هواسرهای ساخت انسان کاملتر هستند. نسبت به وزن خود بار بمراتب بیشتری را بلند میکنند. علاوه بر این برخی از «هواپیماهای گیاهی» بطور خودکار تعادل خودرا حفظ میکنند. مثلا اگر تخم یاسمن هندی را وارونه کنیم، خود تخم از نو برمیگردد و طرف محدبش به سوی پائین قرار میگیرد. اگر ضمن پرواز به مانعی بربخورد تعادلش را از دست نمی‌دهد و سقوط نمیکند، بلکه آرام فرود می‌آید.

پرش طولانی چترباز

در اینجا پرش‌های قهرمانانه چتربازان ما به یاد انسان می‌آید. این استادان پرش با چترنجات از ارتفاع در حدود ۱۰ کیلومتر میپریدند و فقط پس از طی قسمت اعظم راه حلقهٔ چتر نجات را میکشیدند و آخرین چند صد متر را با چتر آهسته فرود می‌آمدند.

بسیاری تصور میکنند که وقتی انسان بدون باز کردن چترنجات از هواپیما می پرد، طوری فرود می‌آید که گوئی در خلاء است. اگر چنین می‌بود، اگر جسم انسان در هوا مانند در خلاء فرود می‌آمد، پرش طولانی مدتی بمراتب کمتر از مدت واقعی طول میکشید و سرعت فرود آمدن در انتهای پرش فوق‌العاده زیاد می‌شد.

اما مقاومت هوا مانع افزایش سرعت میشود. سرعت فرود آمدن چترباز هنگام پرش‌های طولانی فقط در نخستین ده دوازده ثانیه و در مسافت چند صد متر اوایه افزایش می‌یابد. در نتیجهٔ افزایش سرعت مقاومت هوا بقدری زیاد میشود که بزودی لحظه‌ای فرا میرسد که سرعت دیگر تغییر نمیکند. حرکت باشتاب به حرکت یکنواخت تبدیل میشود.

میتوان بوسیله محاسبه نمای کلی پرش طولانی‌را از نظر مکانیک ترسیم کرد. فرود آمدن با شتاب چترباز، بسته به وزن وی، ۱۲ ثانیه یا قدری کمتر طول میکشد. در این ده دوازده ثانیه چترباز در حدود ۴۰۰ — ۵۰۰ متر فرود می‌آید و سرعت فرود آمدنش به در حدود ۵۰ متر در ثانیه میرسد. تمام بقیه راه را تا باز کردن چترنجات با همین سرعت و با حرکت یکنواخت می پیماید.

قطره‌های باران نیز تقریبا همینطور فرود می‌آیند، با این تفاوت که نخستین مرحله فرود آمدن، یعنی وقتی سرعت هنوز افزایش می‌یابد، برای قطرهٔ باران فقط در حدود یک ثانیه و حتی کمتر میباشد. باین دلیل سرعت نهائی قطرهٔ باران به اندازهٔ سرعت چترباز هنگام پرش طولانی زیاد نیست و بسته به کوچکی و بزرگی قطرهٔ باران از ۲ تا ۷ متر در ثانیه میباشد.*

بومرانگ

بومرانگ کامل ترین محصول فن و تکنیک انسان اولیه میباشد. این اسلحه عجیب و بی نظیر مدت مدیدی موجب حیرت و تعجب دانشمندان بود. واقعاً هم اشکال عجیب و پیچ‌درپیچی که بومرانگ در هوا رسم میکند (شکل ۳۵) موجب حیرت و تعجب هر شخصی میشود.

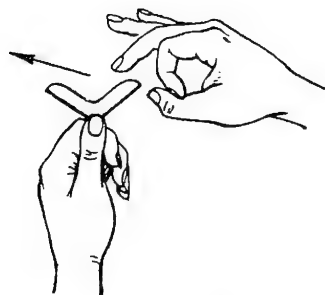
اکنون تئوری پرواز بومرانگ بطور دقیق و مفصل بررسی شده و دیگر شگفت‌آور و معجزه‌آمیز نیست. ما از شرح و تفصیل جزئیات جالب این مسأله صرفنظر میکنیم و فقط میگوئیم که خط سیر



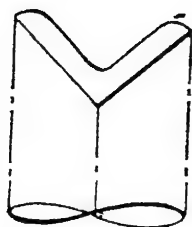
شکل ۳۵ — بومی‌های استرالیا هنگام شکار برای آنکه از پناه‌گاه شکار کنند، از بومرانگ اینطور استفاده میکنند. خط سیر بومرانگ (در صورتیکه به هدف اصابت نکند) با خط نقطه چین نشان داده شده است.

---

* مسألهٔ سرعت قطره‌های باران در کتاب «مکانیک برای سرگرمی» و مسألهٔ پرش طولانی در کتاب «آیا شما فیزیک میدانید؟» تألیف اینجانب بطور مفصل تر بررسی شده است.



شکل ۳۶ — بومرانگ کاغذی و طرز پرتاب آن.

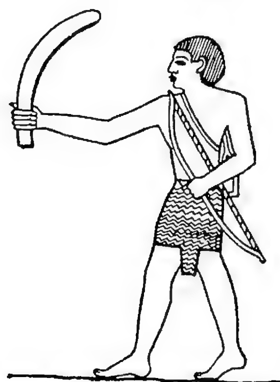


شکل ۳۷ — فرم دیگر بومرانگ کاغذی (با اندازه‌های طبیعی).

عجیب و غریب پرواز بومرانگ نتیجهٔ تأثیر متقابل سه عامل است: ۱ — پرتاب اولیه، ۲ — چرخش بومرانگ، و ۳ — مقاومت هوا. استرالیائی میتواند بطور غریزی این سه عامل را باهم در آمیزد. برای آنکه نتیجهٔ لازم را بدست آورد، با مهارت زاویه انحراف بومرانگ، نیرو و جهت پرتاب را تغییر میدهد.

اما باید دانست که هر کسی میتواند در این هنر تا حدودی ورزیده و ماهر شود.

برای تمرین در اطاق باید به بومرانگ کاغذی اکتفا کرد. این بومرانگ را میتوان بطوری که در شکل ۳۶ نشان داده شده، مثلا از کارت‌پستال ساخت. طول هر پره آن باید در حدود پنج سانتیمتر و عرض هر پره قدری کمتر از یک سانتیمتر باشد. این بومرانگ را با نوک شست بگیرید و با انگشت به انتهای آن ضربتی وارد آورید، بطوری که جهت ضربت به جلو و کمی به بالا باشد. بومرانگ در حدود پنج متر پرواز میکند، با حرکتی هموار و یکنواخت منحنی‌ای که گاهی خیلی پر پیچ و خم و جالب است، رسم میکند و چنانچه در اطاق به چیزی برنخورد، جلو پای شما فرود می‌آید.



شکل ۳۸ — تصویر یک جنگاور مصر قدیم، در حال پرتاب بومرانگ.

اگر بومرانگ را به اندازه و فرمی که در شکل ۳۷ با اندازه‌های طبیعی نشان داده شده، بسازید، بهتر از حالت پیش پرواز خواهد کرد. خوب است بومرانگ را کمی خم کنید و به آن حالت پیچ‌ساننده بدهید (شکل ۳۷، قسمت پائینی). در صورتیکه قدری تجربه داشته باشید، میتوانید این بومرانگ را طوری پرتاب کنید که در هوا منحنی‌های پر پیچ و خم رسم کند و به همان جائی که به پرواز در آمده بود، بر گردد.

در خاتمه متذکر میشویم که بر خلاف آنچه معمولا تصور میکنند، بومرانگ بهیچوجه اسلحهٔ ویژه تنها بومیان استرالیا نیست. بومرانگ در بسیاری از نواحی هندوستان نیز به کار میرود و بطوریکه از بقایای نقاشی‌های روی دیوارها مستفاد میشود، زمانی، اسلحه معمولی جنگاوران آسوری بوده است. در نوبه و مصر قدیم نیز بومرانگ وجود داشته است. یگانه چیزی که ویژهٔ استرالیا میباشد، انحناء مختصری است که به بومرانگ میدهند. بهمین دلیل است که بومرانگ‌های استرالیائی منحنی‌های مرکب و پر پیچ و خم رسم میکنند و چنانچه به هدف نخورند، به جلو پای پرتاب کننده برمیگردند.

فصل چهارم

چرخش. «محرکهای دائمی»

چگونه میتوان تخم مرغ پخته را از تخم مرغ خام تمیز داد؟

اگر لازم باشد که بدون شکستن تخم مرغ، بفهمیم تخم مرغ پخته است یا خام، چه باید کرد؟ دانستن علم مکانیک به ما امکان میدهد که با موفقیت از این بن‌بست کوچک بیرون بیائیم.

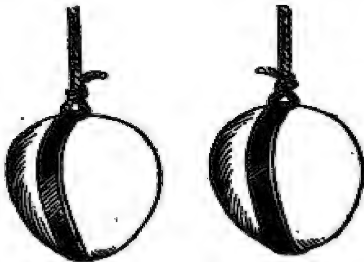
باید دانست که تخم مرغ پخته و تخم مرغ خام یک جور نمی‌چرخد. از این قانون میتوان برای حل مسألهٔ بالا استفاده کرد. باید تخم مرغ مورد نظر را در بشقاب لب تختی گذاشت و با دو انگشت آن را به چرخش درآورد (شکل ۳۹). تخم مرغ پخته (بخصوص سفت) بمراتب سریعتر و بیشتر از تخم مرغ خام خواهد چرخید. چرخاندن تخم مرغ خام حتی مشکل است، در صورتیکه تخم مرغ آب‌پز سفت بقدری سریع میچرخد که به شکل جسم یک پارچهٔ کره‌مانندی به نظر می‌رسد و ممکن است خود بخود روی نوک تیزش بچرخد.

علت این پدیده‌ها آنستکه تخم مرغ آب‌پز سفت مانند جسم یک پارچه‌ای میچرخد، اما مایع داخل تخم مرغ خام فوراً به چرخش در نمی‌آید و در نتیجهٔ اینرسی خود مانع چرخش پوست سفت تخم مرغ میشود و نقش ترمز را ایفا میکند.

از چرخش باز داشتن تخم مرغ پخته و خام نیز یکسان صورت نمیگیرد. اگر انگشت خود را به تخم مرغ پخته در حال چرخش بزنیم، تخم مرغ فوراً از چرخش باز می‌ایستد. اما تخم مرغ خام برای



شکل ۳۹ — طرز چرخاندن تخم مرغ.



شکل ۴۰ — طرز تمیز تخم مرغ پخته از تخم مرغ خام از روی چرخش آنها در حال آویزان بودن.

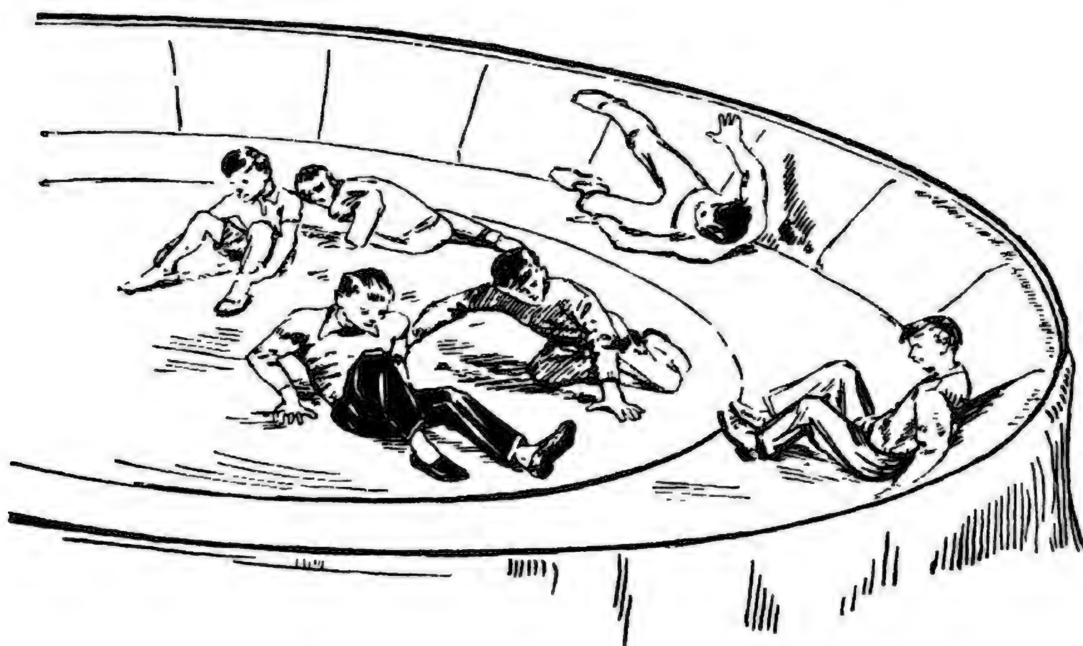
یک لحظه از چرخش باز می‌ایستد و همینکه انگشت خود را از روی آن برداریم، از نو کمی میچرخد. این پدیده نیز در نتیجه اینرسی صورت میگیرد: پس از آنکه پوست سفت تخم‌مرغ خام از چرخش باز ایستاد، مایع درون آن باز هم به حرکت خود ادامه می‌دهد، اما محتوی تخم‌مرغ پخته با پوست آن در یک موقع از چرخش باز می‌ایستد.

اینگونه آزمایش‌ها را بصورت دیگر نیز میتوان انجام داد. به دور یک تخم مرغ خام و یک تخم‌مرغ پخته (در طول) دو حلقه لاستیکی بکشید و آنها را با دو نخ یکسان آویزان کنید (ش ٤٠). هر دو نخ را بمقدار مساوی تاب بدهید و رها کنید. تفاوت میان تخم‌مرغ پخته و خام فوراً آشکار میشود. تخم‌مرغ پخته وقتی به حالت اولیه رسید، در نتیجهٔ اینرسی نخ را در جهت عکس و بعد از نو در جهت اول تاب میدهد. این عمل چند بار تکرار میشود و هر بار تعداد دورها کمتر میشود. اما تخم‌مرغ خام یکی دو بار می‌چرخد و مدت زیادی پیش از تخم‌مرغ پخته از چرخش باز می‌ایستد، زیرا مایع درون آن حرکت را ترمز میکند.

«چرخ خنده»

چتر را باز کنید، نوکش را روی زمین بگذارید، دسته‌اش را بگیرید و بچرخانید تا چتر با سرعت زیادی بچرخد. این کار مشکل نیست. بعد یک توپ یا یک گلولهٔ کاغذی توی چتر بیاندازید. توپ یا گلوله کاغذی توی چتر نخواهد ماند، بلکه در اثر آنچه طبق معمول، بغلط «نیروی گریز از مرکز» می‌نامند و در واقع چیزی جز تظاهر اینرسی نیست، به خارج پرتاب خواهد شد. ضمناً توپ نه در امتداد شعاع چتر، بلکه در امتداد خط مماس به حرکت دورانی پرتاب میشود.

وسیلهٔ تفریح ویژه‌ای که «چرخ خنده» نام دارد بر اساس همین اثر حرکت دورانی ساخته شده است (شکل ٤١). «چرخ خنده» در اغلب پارک‌های فرهنگ هست و کسانی که به پارک میروند



شکل ٤١ — «چرخ خنده». اشخاصی که روی دایره در حال چرخش قرار دارند، به اطراف پرتاب میشوند.

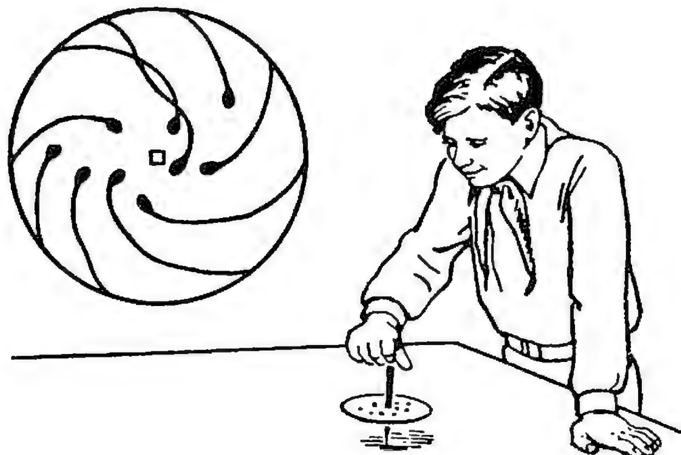
امکان دارند تأثیر اینرسی را روی شخص خودشان بیازمایند. عده‌ای روی صفحه مدوری میروند، و بسته به میل خودشان، می‌ایستند، می‌نشینند یا دراز میکشند. موتوری که زیر صفحه قرار دارد آن را آهسته و یکنواخت به چرخش در می‌آورد و بتدریج بر سرعت آن می‌افزاید و دمبدم سریعتر می‌چرخاند. آنوقت همهٔ کسانی که روی صفحه هستند تحت تأثیر اینرسی به طرف محیط دایره میلغزند. در ابتدا این حرکت تقریباً نامحسوس است، اما بتدریج که «سرنشینان» از مرکز دور میشوند و به محیط دایره هائی با شعاع بیشتری میلغزند، سرعت و در نتیجه اینرسی حرکت، متناسب با شعاع دایره، محسوستر میگردد و «سرنشینان» به اطراف «چرخ خنده» پرتاب میشوند و هیچ کوششی برای آنکه در جای خود ثابت بمانند، نتیجه‌ای نمی‌بخشد.

کرهٔ زمین، در واقع، یک چنین «چرخ خنده‌ای» است، اما با ابعاد فوق‌العاده بزرگ. البته زمین ما را از روی خود پرتاب نمیکند، اما در هر صورت از وزن ما میکاهد. در روی خط استوا که سرعت جرخش بیش از هر جای دیگر است، کاهش وزن بعلت اینرسی به $\frac{۱}{۳۰۰}$ میرسد. باین علت و بعلت دیگر (فشردگی زمین در قطب‌ها) رویهمرفته وزن هر جسمی باندازه نیم درصد یعنی $\frac{۱}{۲۰۰}$ کاهش می‌یابد، بطوری که وزن یک انسان بالغ در استوا تقریباً ۳۰۰ گرم کمتر از قطب است.

گردبادهای جوهری

در مرکز دایره‌ای از مقوای سفید صاف چوب کبریت نوک تیزی فرو کنید. فرفره‌ای تقریباً دو بار بزرگتر از آنچه در شکل ۴۲ سمت چپ تصویر شده است، خواهید داشت. برای چرخاندن فرفره روی نوک تیز چوب کبریت مهارت و چابکی خاصی لازم نیست کافی است چوب کبریت را با دو انگشت بچرخانید و فرفره را بسرعت در جای صافی رها کنید.

با چنین فرفره‌ای میتوانید آزمایش بسیار جالبی بکنید. قبل از آنکه فرفره را به چرخش در آورید، روی مقوا چند قطره کوچک جوهر بچکانید. پیش از آنکه جوهر خشک شود فرفره را بچرخانید. وقتی



شکل ۴۲ — قطره‌های جوهر روی صفحه مدور مقوائی در حال چرخش اینطور پخش میشوند.

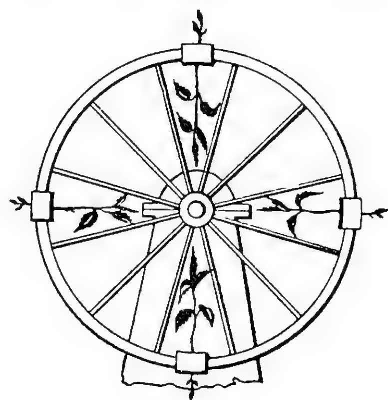
فرفره از چرخش باز ایستاد، نگاه کنید و ببینید قطره‌های جوهر به چه صورتی د ر آمده‌اند. خواهید دید که هر یک از قطره‌های جوهر بشکل خط مارپیچی پخش شده و مجموعه آنها چیزی شبیه به گردباد بوجود آورده‌اند.

این شباهت با گردباد تصادفی نیست. مارپیچ های جوهر روی صفحهٔ مقوا چه چیز را نشان میدهد؟ این مارپیچ ها رد حرکت قطره‌های جوهرند. قطرهٔ جوهر تحت تأثیر همان عواملی قرار میگیرد که آدم روی صفحه دوار «چرخ خنده» قرار میگرفت. وقتی قطرهٔ جوهر تحت تأثیر عمل گریز از مرکز از مرکز دور میشود به نقاطی از صفحهٔ مدور میرود که سرعت دورانی آنها از سرعت خود قطرهٔ جوهر بیشتر است. در این نقاط صفحهٔ مدور از زیر قطره جوهر سر میخورد و از آن جلو می‌افتد. عمل طوری صورت میگیرد که گوئی قطرهٔ جوهر از صفحهٔ مدور عقب میماند و نسبت به شعاع صفحه به عقب میرود. باین دلیل مسیر آن منحنی میشود و ما روی صفحه رد حرکت با خط منحنی را می‌بینیم.

جریان‌های هوائی که از محل فشار زیاد جو (در «آنتی سیکلن») پخش میشوند، یا به محل فشار کم جو (در «سیکلن») گرد می‌آیند، نیز تحت تأثیر همین عوامل قرار میگیرند. مارپیچ های جوهری همانندهای با مقیاس بسیار کوچک این گردباد های عظیم میباشند.

گیاه فریب خورده

چنانچه سرعت چرخش زیاد باشد نیروی گریز از مرکز بحدی افزایش مییابد که از اثر سنگینی زیادتر میشود. آزمایش جالب زیر نشان میدهد که با چرخش یک چرخ معمولی نیروی گریز از مرکز تا چه حد افزایش می‌یابد. میدانیم که ساقه گیاه جوان همیشه به طرف عکس نیروی سنگینی، یعنی بعبارت ساده به بالا رشد میکند. اما اگر تخم‌های گیاهی را روی چنبر چرخ دواری بکارید و در تمام مدتی که گیاه میروید چرخ با سرعت زیادی بچرخد، چیز حیرت انگیزی خواهید دید (این کار را «نایت» گیاه شناس انگلیسی بیش از صد سال پیش برای نخستین بار انجام داد): ریشه‌های جوانه‌ها به خارج و ساقه‌ها به داخل در امتداد شعاع چرخ رشد خواهند کرد (شکل ۴۳).



شکل ۴۳ — لوبیاهائی که روی چنبر چرخ دوار روئیدند. ساقه‌ها به طرف محور چرخ و ریشه‌ها به خارج متوجه‌اند.

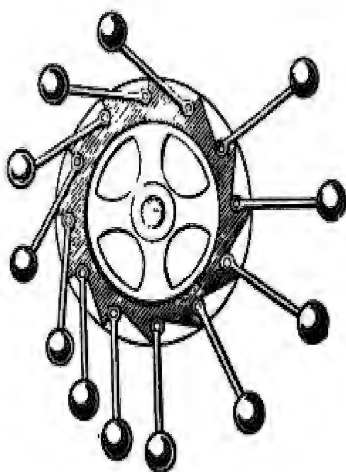
با این عمل ما گیاه را بطور شرطی گول زده‌ایم، یعنی کاری کرده‌ایم که بجای نیروی سنگینی، نیروی دیگری که سمت آن از مرکز به خارج متوجه است، روی گیاه تأثیر کند. از آنجا که جوانه همیشه به طرف عکس جهت نیروی سنگینی رشد میکند، در این مورد به داخل چرخ، از چنبر به طرف محور، رشد کرده است. سنگینی مصنوعی‌ای که ما بوجود آورده بودیم، از سنگینی طبیعی نیرومندتر بوده * و جوانه تحت تأثیر آن رشد کرده است.

---

* نظریه معاصر در مورد قوهٔ جاذبه در اینجا تفاوت اصولی قائل نیست.

«محرک‌های دائمی»

عبارت های «محرک دائمی» و «حرکت دائمی» را اغلب، هم به معنای حقیقی و هم به معنای مجازی کلمه بکار میبرند، اما عدهٔ زیادی نمیدانند این عبارت را چطور باید فهمید. محرک دائمی به یک دستگاه تصوری گفته میشود که بدون توقف خود بخود حرکت کند و بعلاوه کار مفیدی انجام دهد، مثلا بار بردارد. با اینکه از مدتها پیش عده‌ای کوشیده‌اند چنین دستگاهی اختراع کنند، اما تا کنون کسی نتوانسته است آن را بسازد. بیهوده و عبث ماندن این کوشش‌ها موجب پیدایش نظریه قطعی محال بودن محرک دائمی و اثبات قانون بقای انرژی، یعنی عمده‌ترین نظریهٔ علم معاصر گردید. و اما منظور از حرکت دائمی حرکتی استکه بدون انجام کاری بطور مداوم صورت گیرد.



در شکل ٤٤ یکی از قدیم‌ترین پروژه‌های محرک دائمی، یعنی دستگاه خیالی‌ای که خود بخود حرکت میکند، ترسیم شده است. حالا نیز گاهی طرفداران متعصب و ناکام این نظریه در احیای آن میکوشند. چند میله که در سر هر یک وزنه سنگینی قرار دارد، بوسیله لولا به دور چرخی نصب شده است. چرخ در هر حالتی قرار داشته باشد، فاصلهٔ وزنه‌های طرف راست از مرکز چرخ بیش از فاصلهٔ وزنه‌های طرف چپ است. بنا بر این، طرف راست باید همیشه طرف چپ را بکشد و در نتیجه چرخ را بچرخاند. پس چرخ باید تا ابد یا لااقل تا وقتی که محور آن سائیده نشده است، بچرخد. مخترع چنین فکر می‌کرده است. اما اگر چنین محرکی بسازیم، نخواهد چرخید. پس چرا حساب مخترع درست در نمی‌آید؟

باین دلیل: گرچه فاصلهٔ وزنه‌های طرف راست از مرکز همیشه بیشتر است، اما ناگزیر در هر حالتی تعداد این وزنه‌ها از تعداد وزنه‌های طرف چپ کمتر است. به شکل ٤٤ نگاه کنید: در طرف راست فقط ٤ وزنه و در طرف چپ ٨ وزنه قرار میگیرد. معلوم میشود که تمام دستگاه به حالت تعادل در می‌آید و طبیعی است که چرخ نخواهد چرخید، بلکه چند بار تکان خواهد خورد و به همان حالت خواهد ایستاد. *

اکنون بطور قطع و اعتراض ناپذیر ثابت شده است که نمیتوان دستگاهی ساخت که خود بخود دائماً در حرکت باشد و ضمناً کاری هم انجام دهد. کوشش برای حل چنین مسأله ای کاری است بیهوده و عبث. در گذشته، بخصوص در قرون وسطی، عده زیادی برای حل این مسأله کوشش‌های فراوانی کردند و برای اختراع «محرک دائمی» (به لاتینی perpetuum mobile) زحمت و وقت زیادی صرف کردند، اما کوچکترین موفقیتی بدست نیاوردند. داشتن چنین محرکی حتی از هنر کیمیاگری و ساختن طلا از فلزات ارزان فریبنده تر بنظر می‌آمد.

---

* حرکت این نوع دستگاه از طریق قضیه‌ای بنام قضیه سمان‌ها توصیف میشود.

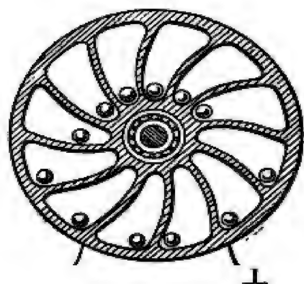
در اثر پوشکین «صحنه‌هائی از دوران شوالیه‌ها» در سیمای شخصی بنام برتولد چنین خیال‌پردازی توصیف شده است:

«مارتین پرسید:

— perpetuum mobile چیست؟

برتولد به او جواب داد:

— perpetuum mobile حرکت دائمی است. اگر من حرکت دائمی را پیدا کنم، دیگر برای آفرینندگی انسان مرزی نمی‌بینم... مارتین عزیزم، ملاحظه میکنی! ساختن طلا مسألهٔ فریبنده‌ای است، این کشف ممکن است جالب و پرسود باشد، اما پیدا کردن perpetuum mobile ... آه!..»



شکل ٤٥ — محرک دائمی خیالی با گلوله‌های غلتان.

صدها «محرک دائمی» اختراع کردند، اما هیچ یک از آنها حرکت نکرد. در هر موردی، همانطور که در مورد بالا دیدیم، مخترع مسأله‌ای را در نظر نمی گرفت و همین امر تمام نقشه‌های او را نقش بر آب می کرد.

باز هم یک نمونه دیگر محرک دائمی خیالی: چرخی که در درون آن گلوله‌های سنگین غلتان کار گذاشته شده است (شکل ٤٥). مخترع تصور میکرد که گلوله‌های یک طرف چرخ که همیشه از محور چرخ دورتر قرار دارند، چرخ را میچرخانند.

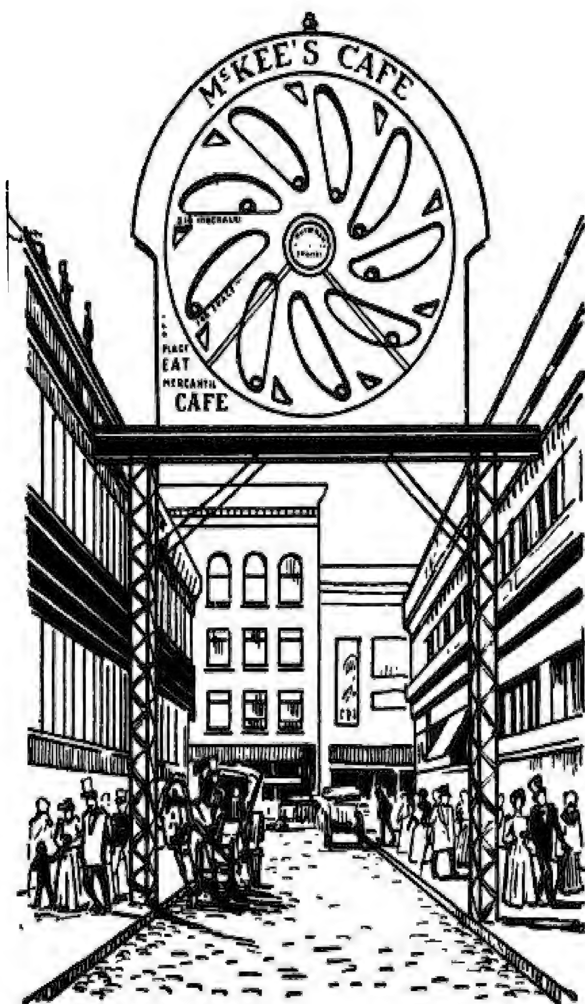
واضح است که به همان دلیلی که در چرخ شکل ٤٤ دیدیم، این چرخ هم نخواهد چرخید. با وجود این در یکی از شهرهای امریکا برای رکلام و جلب توجه مردم به کافه چرخ عظیمی از همین نوع ساخته شده بود (شکل ٤٦). البته این «محرک دائمی» بوسیله مکانیسم دیگری که با مهارت پنهان شده بود، بطور نا مشهودی به حرکت در می‌آمد، اما تماشاچیان تصور میکردند که گلوله‌های غلتان درون شکاف‌ها چرخ را به حرکت در می‌آورد. محرک‌های دائمی خیالی دیگری که زمانی برای جلب نظر مردم در ویترین‌های مغازه‌های ساعت سازی به نمایش گذاشته میشدند، نیز از همین نوع بودند. همه آنها بطور نا مشهودی بوسیله جریان برق به حرکت در می‌آمدند.

یک بار یکی از این «محرک های دائمی» رکلامی برای من درد سر زیادی فراهم آورد. دانش‌آموزان کارگر من بقدری شیفته آن شده بودند که به استدلالات من در مورد نا ممکن بودن محرک دائمی با سردی برخورد میکردند. منظرهٔ گلوله‌های غلتانی که چرخ را میچرخاندند و بوسیله همان چرخ بالا میرفتند، آنهارا بیش از دلائل من متقاعد میساخت. آنها نمیخواستند باور کنند که آن دستگاهٔ مکانیکی عجیب بوسیله جریان برق شبکه برق شهر به حرکت در می‌آمد. آن زمان در روزهای تعطیل برق شهر را قطع میکردند و این امر مرا از مخمصه نجات داد. من که از این مسأله اطلاع داشتم به شاگردانم گفتم در روزهای تعطیل به ویترین سری بزنند. آنها به اندرز من عمل کردند. بعد من پرسیدم:

— خوب، محرک را دیدید؟ آنها خجالت زده جواب دادند:

— نخیر. جلوش روزنامه آویزان کرده‌اند، دیده نمیشود...

آنها از نو به قانون بقای انرژی اعتماد پیدا کردند و دیگر آن اعتماد را از دست ندادند.



شکل ٤٦ — محرک دائمی خیالی در شهر لوس‌آنجلس (کالیفورنیا) که برای رکلام ساخته شده بود.

«گیر کوچک»

عده زیادی از مخترعین مکتب ندیده روسی نیز برای حل مسأله فریبندهٔ «محرک دائمی» زحمت کشیده اند. آلکساندر شگلوف دهقانی از اهالی سیبری یکی از آنان میباشد که سالتیکوف شدرین نویسنده مشهور روسی در داستان خود «زندگی سعادتمند و آرام کنونی» وی را بنام «پرزنتوف بازاری» توصیف کرده است. شدرین در باره بازدید از کارگاه این مخترع چنین مینویسد:

«پرزنتوف بازاری مردی بود در حدود سی و پنج ساله، لاغر و رنگ پریده با چشمان درشت متفکر و موهای صاف بلند که دسته دسته روی گردنش آویزان بود. خانهٔ دهاتیش بحد کافی وسیع بود، اما چرخ طیار بزرگی درست نصف آن را اشغال کرده بود، بطوریکه جمعیت ما بزحمت در آن جا گرفت. چرخ توخالی بود و پره‌های سیمی داشت. چنبر نسبتاً بزرگ آن مثل جعبهٔ توخالی از تخته ساخته شده بود. مکانیسمی که رمز مخترع را تشکیل میداد در داخل همین فضای خالی قرار داشت. البته این

رمز چندان خردمندانه نبود، چیزی مانند چند کیسه پر از شن بود که میبایست متقابلا نسبت به هم در حال تعادل قرار بگیرند. از میان یکی از پره‌ها چوبی گذرانده بود که چرخ را بیحرکت نگاه میداشت.
من شروع به حرف کردم و پرسیدم:
— شنیده‌ایم که شما قانون حرکت دائمی را در عمل بکار برده‌اید؟
او با خجالت جواب داد:
— نمیدانم چطور بعرضتان برسانم، تصور میکنم، مثل اینکه...
— میشود تماشا کرد؟
— بفرمائید! باعث سعادت بنده...
او ما را جلو چرخ برد، بعد دور چرخ گرداند. معلوم شد که هم از جلو و هم از عقب چرخ است.
— میچرخد؟
— قاعدتاً باید بچرخد، اما مثل اینکه اطوار در می‌آورد...
— میشود چوب را بیرون آورد؟
پرزنتوف چوب را از درون پره بیرون آورد، اما چرخ تکان نخورد. پرزنتوف تکرار کرد:
— اطوار در می‌آورد! باید شوک وارد آورد.
— بعد با هر دو دست چنبر چرخ را گرفت، چند بار به بالا و پائین گرداند و بالاخره بشدت چرخاند و ول کرد. چرخ به چرخش درآمد و چند دور نسبتا سریع و هموار چرخید، اما شنیده میشد که چطور کیسه‌های شن در درون چنبر گاه به دیواره‌ها فشار می‌آوردند و گاه از آنها جدا میشدند. بعد سرعت چرخش چرخ تقلیل یافت و تقلیل یافت، صدای ترق و تروقی به گوش رسید و بالاخره چرخ بکلی از حرکت باز ایستاد.
مخترع خجالت‌زده توضیح داد:
— لابد گیر کوچکی کرده است — و باز هم با تمام نیرو چرخ را به چرخش در آورد.
اما بار دوم نیز همان جریان عیناً تکرار شد.
— شاید اصطکاک را بحساب نیاورده‌اید؟
— اصطکاک را هم بحساب آورده‌ام... چه اصطکاکی؟ این از اصطکاک نیست، بلکه همینطور... درست آدم را شاد میکند، اما بعد یکدفعه... اطوار در می‌آورد، لج میکند و والسلام شد تمام. اگر چرخ از مصالح حسابی ساخته شده بود... اما همینطور از تکه پاره‌های قراضه...»
البته، اینجا مطلب نه در «گیر کوچک» است و نه در «مصالح حسابی» بلکه در نادرست بودن ایدهٔ اصلی مکانیسم میباشد. چرخ در اثر «شوک» (تکانی) که مخترع به آن وارد می‌آورد کمی میچرخید و بعد وقتی نیروئی که از خارج به آن داده شده بود در اثر اصطکاک به پایان میرسید، ناگزیر میبایست بایستد.

«نیروی عمده در گلوله ها است»

کارونین (پتروپاولوفسکی) نویسنده روسی از لاورنتی گلدیرف دهقانی از اهالی پرم، مخترع دیگر «محرک دائمی» حکایت میکند. نویسنده در حکایت «perpetuum mobile» این مخترع مکتب ندیده روسی را بنام پیختین توصیف میکند. کارونین که شخصاً گلدیرف را میشناخته است، اختراع او را بطور نسبتاً مفصلی شرح میدهد:

«در برابر ما ماشین عجیبی با ابعاد بزرگ قرار داشت که در نظر اول به دستگاه تعلبندی اسب‌ها شبیه بود و از چند تیر چوبی بد رنده شده، چند تیر عرضی و یک سلسله چرخ طیار و چرخ دندانه‌دار تشکیل شده بود. همهٔ آنها یغور و ناصاف و بدترکیب بودند. در پائین‌ترین محل زیر ماشین تعدادی گلولهٔ چدنی قرار داشت و تعداد زیادی هم از همین گلوله‌ها در کناری کوت شده بود.

کارپرداز پرسید:

— این همان است؟

— بله قربان، همان است...

— خوب، میچرخد؟

— البته که میچرخد...

— برای آنکه آن را بچرخانی اسب داری؟

— پیختین جواب داد:

— اسب چه لزومی دارد؟ خودش میچرخد، — و به نشان دادن ساختمان دستگاه عجیب پرداخت. نقش عمده را همان گلوله‌های چدنی بازی میکردند که در کنار دستگاه کوت شده بود.

— نیروی عمده در این گلوله‌هاست... ملاحظه بفرمائید: اول گلوله توی این پاتیل می‌افتد... از آنجا مثل برق لامع از این ناو میگذرد و آنجا آن پاتیل به زیرش میخورد و بلندش میکند و گلوله بسرعت روی آن چرخ میپرد و از نو به آن تکان شدیدی میدهد، چنان تکانی که در اثر آن صفیر میکشد... ضمن آنکه این گلوله میپرد، گلوله دیگر کار خود را میکند... آنوقت آن گلوله باز هم میپرد و اینجا می‌افتد. بعد از نو از این ناو بسرعت میگذرد... روی آن پاتیل می‌افتد و بعد روی آن چرخ میپرد و از نو آن را بلرزه در می‌آورد! و این عمل مرتب تکرار میشود. اصل مطلب در همین است.... الساعه به کارش می‌اندازم...

پیختین در انبار به اینور و آنور میدوید و گلوله‌هائی را که پخش و پلا بودند جمع میکرد... بالاخره همهٔ گلوله‌ها را در کنار خود کوت کرد، یکی از آنها را برداشت و بشدت روی نزدیکترین پاتیل چرخ انداخت، بعد بسرعت گلوله دومی و پس از آن سومی را... در انبار چنان هنگامه‌ای راه افتاد که تصورناپذیر بود: گلوله‌ها با صدای گوشخراشی به پاتیل های فلزی میخوردند، چوب چرخ‌ها و تیرها ترق و تروق می‌کردند و صفیر و زوزه و غژغژ و سرو صداهای جهنمی فضای نیمه تاریک انبار را پرکرده بود...»

نویسنده تصدیق میکند که ماشین گلدیرف حرکت می کرده است. اما این سؤ تفاهم محض است. چرخ فقط تازمانی میتوانسته است بچرخد که گلوله‌های بالابرده‌شده پائین می‌آمدند، آنوقت این گلوله‌ها، مانند وزنه‌های ساعت دیواری، بحساب انرژی ذخیره‌شده ضمن بالا بردن آنها چرخ را بحرکت در می‌آوردند. این حرکت دستگاه مدت زیادی نمیتوانست ادامه یابد. وقتی همهٔ گلوله‌هائی که قبلا بالا برده بودند، توی پاتیل ها می افتادند و در پائین قرار میگرفتند، دستگاه از حرکت باز می‌ایستاد، حتی ممکن بود در نتیجه عکس‌العمل گلوله‌هائی که دستگاه میبایست بالا ببرد، قبل از آن نیز از حرکت باز بایستد.

خود مخترع هم بعداً وقتی ماشین را در یکاترینبورگ به نمایش گذاشته بود و در همان نمایشگاه با ماشین‌های صنعتی واقعی آشنا شد، از مصنوع خویش قطع امید کرد. وقتی از او در باره ماشینی که اختراع کرده و خود بخود حرکت میکند، پرسیدند، با خاطری افسرده جواب داد:

— باید دورش انداخت. دستور بدهید تکه‌تکه‌اش کنند تا اقلا از هیزمش بشود استفاده کرد...

آکومولاتور اوفیمتسف

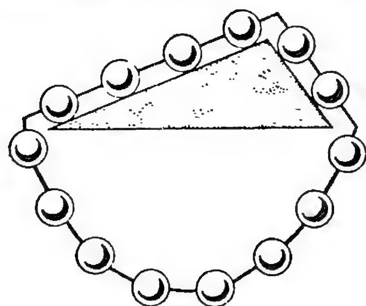
دستگاهی که بنام آکومولاتور انرژی مکانیکی اوفیمتسف معروف است، گواه بر آن بود که اگر در باره حرکت «دائمی» فقط بر اساس شکل ظاهری قضاوت کنیم، چقدر زود دچار اشتباه میشویم. اوفیمتسف مخترعی از اهالی کورسک نوع جدیدی دستگاه بادی با آکومولاتور « اینرسی » ارزان اختراع کرد که به شکل چرخ طیار ساخته شده بود. اوفیمتسف در سال ۱۹۲۰ مدل آکومولاتور خود را ساخت. این مدل از یک دیسک عبارت بود که با یاتاقان ساچمه‌ای حول محور عمودی میچرخید، یاتاقان در محفظه‌ای قرار داشت که هوای آن را تخلیه کرده بودند. دیسک را با سرعت ۲۰۰۰۰ دور در دقیقه به چرخش در می‌آوردند و پس از آن پانزده شبانه روز متوالی میچرخید! وقتی یک ناظر ظاهربین دیسکی میدید که روزهای متوالی بدون نیروی خارجی میچرخید، ممکن بود باور کند که شاهد عملی شدن واقعی حرکت دائمی میباشد.

« معجزه است و معجزه نیست »

کوشش بیهوده برای ساختن محرک « دائمی » عده زیادی را به خاک سیاه نشانده است. من کارگری را میشناختم که تمام دستمزد و اندوخته خویش‌را برای ساختن مدل محرک « دائمی » خرج کرده در نتیجه کارش به گدائی کشیده بود. او قربانی ایده غیر عملی خود شده بود. همیشه گرسنه و نیم‌برهنه بود و از همه خواهش میکرد برای ساختن « آخرین مدلی » که « بدون شک حرکت خواهد کرد » به وی پول بدهند. آدم دلش میسوخت که این شخص فقط و فقط در نتیجه خوب ندانستن اصول اولیهٔ فیزیک به آنهمه محرومیت دچار شده بود.

جالب استکه اگر کوشش برای ساختن محرک « دائمی » همیشه بی نتیجه مانده، بر عکس، درک عمیق عدم امکان آن بارها موجب کشف‌های سودمند شده است.

راهی که ستوین دانشمند برجستهٔ اواخر قرن ۱۶ و اوایل قرن ۱۷ هلندی به کمک آن قانون تعادل نیروها در سطح شیب‌دار را کشف کرد، مثال بسیار خوبی است. این ریاضی دان دانشمند، شایستهٔ آنستکه بمراتب بیش از شهرتی که نصیبش شده است، شهرت داشته باشد، زیرا او کشف‌های مهم زیادی کرده است، که ما اکنون همیشه از آنها استفاده میکنیم. مثلا: کسر اعشاری را اختراع کرد، به کار بردن نماینده و توان را در جبر متداول ساخت، قانون هیدروستاتیکی را کشف کرد (این قانون بعدها دو باره بوسیله پاسکال کشف شد).



شکل ۴۷ — « معجزه است و معجزه نیست »

ستوین قانون تعادل نیروها در سطح شیب‌دار را نه با استفاده از قانون متوازی‌الاضلاع نیروها، بلکه فقط به کمک طرحی که در شکل ۴۷ عیناً تصویر شده است، کشف کرد. زنجیری مرکب از ۱۴ گلوله یکسان به دور یک منشور سه وجهی انداخته شده است. زنجیر چه حالتی خواهد داشت؟ قسمت پائینی زنجیر که بصورت نیم دایره‌ای آویزان است، خود بخود به حالت تعادل در می‌آید. اما

آیا میان دو قسمت دیگر زنجیر نیز تعادل برقرار میشود؟ بعبارت دیگر، آیا میان دو گلولهٔ سمت راست و چهار گلولهٔ سمت چپ تعادل برقرار میشود؟ البته تعادل برقرار میشود، زیرا در غیر اینصورت زنجیر دائماً از راست به چپ حرکت خواهد کرد، چونکه بجای گلوله‌هائی که به پائین لغزیده است گلوله‌های دیگری خواهد آمد و هرگز تعادل برقرار نخواهد شد. اما چون میدانیم که چنین زنجیری هرگز خود بخود حرکت نمیکند، پس واضح است که میان دو گلولهٔ سمت راست و چهار گلولهٔ سمت چپ تعادل وجود دارد. گوئی معجزه‌ای روی میدهد: نیروی کشش دو گلوله مساوی نیروی کشش چهار گلوله است.

ستوین از این معجزه خیالی یک قانون مهم مکانیک را کشف کرد. او چنین فکر میکرد: وزن دو قسمت زنجیر — قسمت بلند و قسمت کوتاه — مساوی نیست، بهمان اندازه که سطح بلند منشور از سطح کوتاه آن بلندتر است، وزن قسمت بلند زنجیر از وزن قسمت کوتاه آن بیشتر است. از اینجا نتیجه میشود که اگر وزن دو جسم که بوسیله طناب به هم بسته شده اند با طول دو سطح شیب دار که روی آن قرار گرفته‌اند، متناسب باشد، بین آن دو جسم تعادل برقرار میشود.

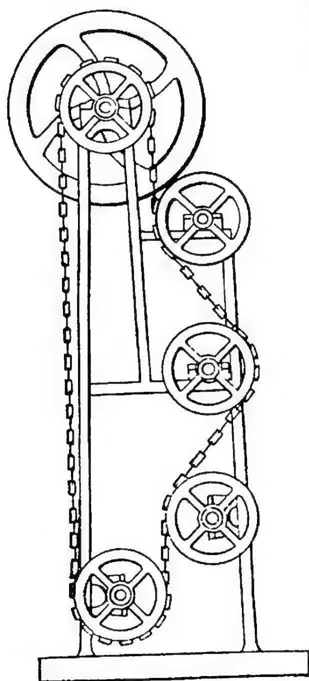
در مورد خاصی که سطح کوتاه عمودی باشد، قانون معروف مکانیک حاصل میشود: برای آنکه جسمی را روی سطح شیب‌داری نگه داریم باید در جهت عکس شیب نیروئی بهمان اندازه کمتر از وزن جسم بکار ببریم که ارتفاع سطح شیب‌دار از طول آن کمتر است.

بدین ترتیب با مأخذ قرار دادن فکر محال بودن محرک دائمی، کشف مهمی در مکانیک صورت گرفت.

باز هم «محرک‌های دائمی»

در شکل ۴۸ زنجیر سنگینی می‌بینید که از روی چند چرخ میگذرد و طوری قرار دارد که در هر حالتی قسمت طرف راست آن از قسمت طرف چپ سنگین تر است. مخترع خیال میکرد: بنا بر این طرف راست باید با طرف چپ تعادل نداشته باشد و همیشه به پائین کشیده شود و تمام دستگاه را به حرکت در آورد. آیا واقعاً چنین است؟

البته نه. ما هم اکنون دیدیم که اگر دو نیرو دو قسمت زنجیری را با زاویه‌های مختلف بکشند، ممکن است قسمت سنگین و قسمت سبک زنجیر تعادل داشته باشند. در این دستگاه نیز طرف چپ زنجیر بحالت عمودی کشیده شده و طرف راست آن مایل است. باین دلیل با وجود اینکه طرف راست سنگین‌تر است، طرف چپ را نمیکشد و حرکت «دائمی» که مخترع انتظار آن را داشته است، ممکن نیست بوجود آید.



شکل ۴۸ — آیا این محرک دائمی است؟

یکی از مخترعین محرک «دائمی» که در سال‌های شصت قرن گذشته اختراع خود را در نمایشگاه پاریس بمعرض نمایش گذاشته بود، جالب‌تر از همه عمل کرده است. محرک «دائمی» او عبارت

از چرخ بزرگی بود که چند گلوله در داخل آن میغلتید. مخترع ادعا میکرد که هیچکس قادر نیست چرخ را از حرکت باز دارد. تماشاچیان یکی پس از دیگری میکوشیدند چرخ را نگهدارند، اما همینکه دست خود را از روی چرخ بر میداشتند، چرخ از نو به چرخش در می‌آمد. هیچکس حدس نمیزد که چرخ همانا در نتیجه کوشش تماشاچیان برای متوقف ساختن آن میچرخد. آنها ضمن هل دادن چرخ به عقب فنری را که با مهارت تام در درون دستگاه پنهان بود، کوک میکردند.

«محرک دائمی» دوران پتر اول

نامه‌های متعددی که پتر اول در سال های ۱۷۱۵ — ۱۷۲۲ برای خرید یک محرک دائمی در آلمان نوشته و دریافت داشته، تا کنون باقی مانده است. مخترع این دستگاه شخصی بود بنام دکتر اورفیرئوس که با اختراع چرخی که «خود بخود حرکت میکرد» در سراسر آلمان مشهور شده بود. مخترع موافقت کرد اختراع خود را به قیمت سرسام‌آوری به تزار روسی بفروشد. پتر اول دانشمند کتابداری بنام شوماخر را برای جمع‌آوری چیزهای نادر به کشورهای باختر فرستاده بود. شوماخر که برای خرید اختراع اورفیرئوس با وی مذاکره میکرد، در باره خواست‌های مخترع به تزار چنین گزارش داده است:

«آخرین حرف مخترع این بود: در یک کفه ۱۰۰۰۰۰ یفیموک* بگذارید، من ماشین را در کفه دیگر میگذارم».

طبق گفته شوماخر، مخترع در باره خود ماشین ادعا میکرده است که ماشین «واقعاً هست و احدی نمیتواند از آن بد بگوید، مگر کینه‌توز باشد، اما جهان پر از اشخاص کینه‌توزی است که بهیچوجه نمیتوان به آنها اعتماد کرد».

در ژانویه سال ۱۷۲۵ پتر اول قصد سفر به آلمان داشت تا «محرک دائمی» را که آنهمه در اطرافش سر و صدا راه افتاده بود، شخصاً بازدید کند، اما اجل به تزار مهلت نداد که نیت خویش را عملی سازد.

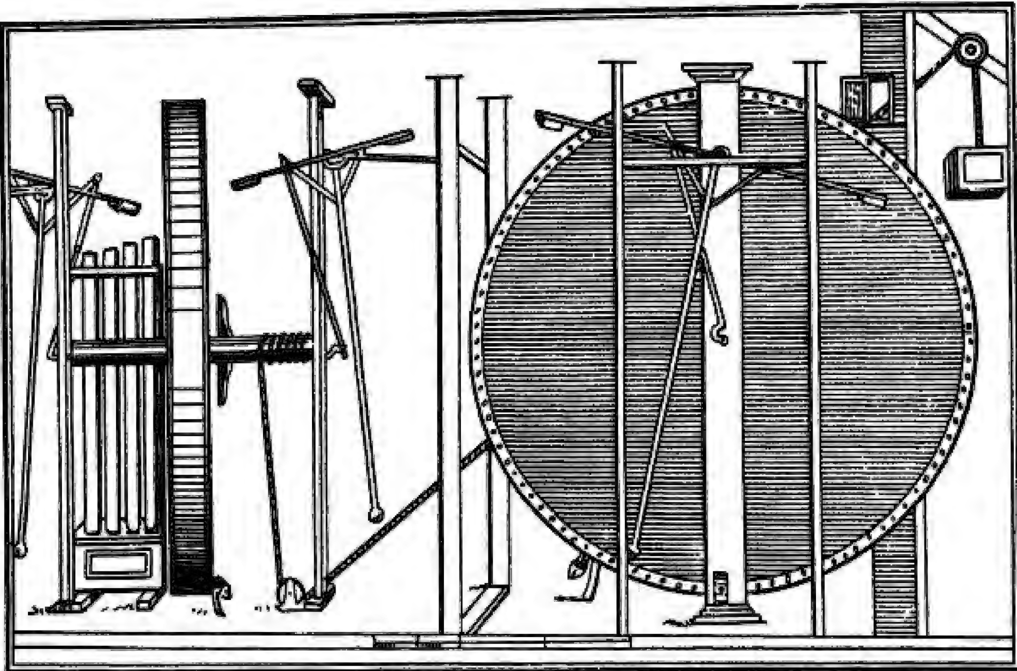
این دکتر اورفیرئوس مرموز که بوده و «ماشین نامدار» وی چه بوده است؟ من با زحمت زیاد توانسته‌ام هم در باره این و هم در باره آن اطلاعاتی به دست بیاورم.

نام خانوادگی حقیقی اورفیرئوس «بسلر» بود. او در سال ۱۶۸۰ در آلمان متولد شد، به کسب علوم الهی و طب و نقاشی پرداخت و بالاخره به اختراع محرک «دائمی» دست زد. اورفیرئوس در میان هزاران مخترع «محرک دائمی» مشهور ترین، و به احتمال قوی کامیاب‌ترین آنهاست. او تا آخرین روزهای حیات خود (در سال ۱۷٤۵ وفات یافت) با درآمدی که از به نمایش گذاشتن ماشین خود بدست می‌آورد، در رفاه و آسایش زندگی میکرد.

در شکل ٤۹ که از یک کتاب قدیمی اقتباس شده، ماشین اورفیرئوس بصورتیکه در سال ۱۷۱٤ بوده تصویر شده است. شما در این شکل چرخ بزرگی می‌بینید که گویا نه فقط خود بخود میچرخیده، بلکه ضمن چرخیدن بار سنگینی را به ارتفاع نسبتا زیادی نیز بلند میکرده است.

---

* — یفیموک (Joachimsthaler) معادل تقریباً یک روبل.

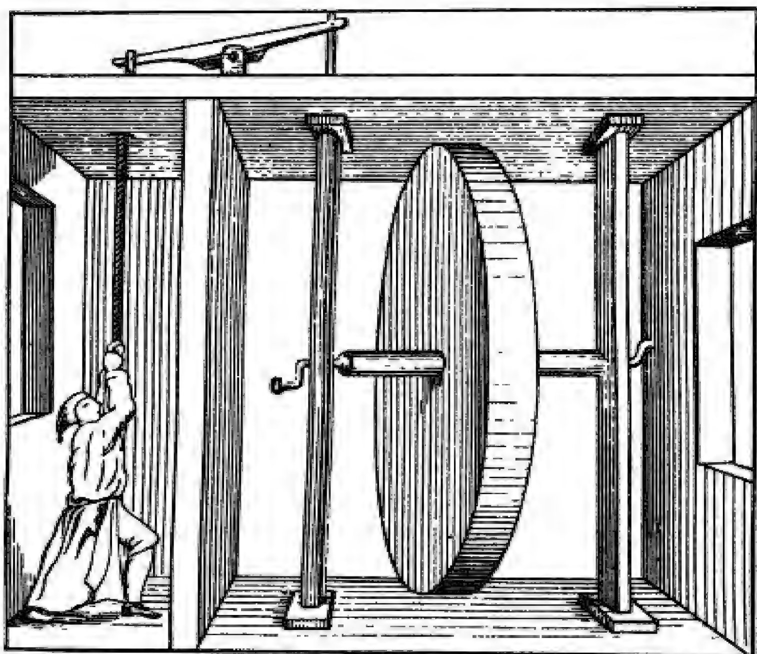


شکل ۴۹ — چرخ اورفیرئوس که خود بخود میچرخید و چیزی نمانده بود که پتر اول آن را بخرد (از روی یک شکل قدیمی).

شهرت این اختراع شگفت‌آور که دکتر دانشمند در بازارهای مکاره به معرض نمایش میگذاشت، بسرعت در سراسر آلمان پخش شد و اورفیرئوس بزودی پشتیبانان نیرومندی بدست آورد. ابتدا پادشاه لهستان و سپس بارون هسن — کاسل آلمانی به آن علاقه‌مند شدند. بارون آلمانی کاخ خویش را در اختیار مخترع گذاشت و ماشین وی را مورد آزمایش‌های گوناگون قرار داد.

مثلاً، ۱۲ نوامبر سال ۱۷۱۷ ماشین را که در اطاق مجزائی قرار داشت، به حرکت در آوردند. سپس در اطاق را قفل و مهر و موم کردند و تحت مراقبت دقیق دو پاسدار از سربازان نخبه گذاشتند. چهارده شبانه روز تمام احدی حق نداشت به اطاقی که چرخ اسرارآمیز در آن میچرخید، حتی نزدیک بشود. فقط روز ۲۶ نوامبر مهر و موم را برداشتند و بارون با مقربان خود به اطاق رفت. آنها چه دیدند؟ چرخ هنوز هم میچرخید و «سرعت آن کاهش نمی‌یافت»... چرخ را نگهداشتند، بدقت مورد بررسی قرار دادند و سپس از نو به کار انداختند. باز هم در اطاق را مهر و موم کردند و چهل شبانه روز سربازان نخبه جلو آن کشیک میدادند. وقتی روز ۴ ژانویه سال ۱۷۱۸ مهر و موم را برداشتند کمیسیون مرکب از چند نفر متخصص مشاهده کردند که چرخ میچرخد!

بارون به اینهم قانع نشد. برای سومین بار آزمایش کردند — در اطاقی که محرک در آن قرار داشت دو ماه تمام مهر و موم بود. با وجود این در پایان این مدت دیدند که محرک باز هم حرکت میکند! بارون که واله و حیران شده بود، به مخترع گواهی نامهٔ رسمی داد که «محرک دائمی» وی در هر دقیقه ۵۰ دور میچرخد، میتواند ۱۶ کیلوگرم را به ارتفاع ۱/۵ متر بالا ببرد و



شکل ۵۰ ــ افشای راز چرخ اورفیرئوس (از روی یک شکل قدیمی).

بعلاوه میتواند یک دم آهنگری و یک چرخ چاقوتیزکنی را به حرکت در آورد. اورفیرئوس با این گواهی‌نامه در اروپا مسافرت میکرد و لابد درآمد کلانی داشت که حاضر نشد ماشین را به قیمت کمتر از ۱۰۰۰۰۰ روبل به پتر اول بفروشد.

خبر این اختراع شگفت‌آور دکتر اورفیرئوس بسرعت از مرزهای آلمان گذشت و در سراسر اروپا پخش شد. این خبر به پتر اول هم رسید و تزار روسی را که شیفته هر گونه «ماشین مرکب و پیچیده» بود، سخت بخود مشغول داشت.

پتر در سال ۱۷۱۵، وقتی که در خارج از روسیه بسر میبرد، چرخ اورفیرئوس را مورد توجه قرار داده و در همان وقت اوسترمان دیپلمات معروف را مأمور کرده بود از نزدیک با این اختراع آشنا شود. با اینکه اوسترمان موفق نشد شخصاً محرک را ببیند، بزودی گزارش مفصلی در بارهٔ آن برای تزار فرستاد. پتر در نظر داشت حتی اورفیرئوس را بعنوان یک مخترع برجسته به خدمت خود دعوت کند و دستور داد نظر کریستیان ولف فیلسوف مشهور آن زمان و معلم لومونوسف را در بارهٔ اورفیرئوس استفسار کنند.

سیل پیشنهادهای دلپذیر و تحسین‌آمیز از همه جا به سوی مخترع نامدار روان شد. بزرگان عصر وی را مورد لطف و عنایت شایان قرار دادند. شعرا در مدح چرخ شگفت آور وی قصاید بلندبالا سرودند. اما بدخواهانی نیز بودند که گمان میکردند در این کار نیرنگ ماهرانه‌ای نهفته است. حتی اشخاص باجسارتی پیدا شدند که اورفیرئوس را علناً مکار و حیله‌گر مینامیدند. برای کسی که نیرنگ وی را

فاش سازد، جایزه‌ای به مبلغ ۱۰۰۰ مارک تعیین شده بود. در یکی از هجویاتی که بمنظور افشای نیرنگ وی نوشته شده بود، تصویری هست که در اینجا عیناً بچاپ رسیده است (شکل ۵۰). بعقیده افشاکننده، رمز «محرک دائمی» بطور صاف و ساده در آنستکه به دور قسمتی از محور چرخ که در درون پایه چرخ قرار دارد، ریسمانی پیچیده‌اند، بطوری که تماشاچیان آن را نمی‌بینند و شخصی که با مهارت پنهان شده است، این ریسمان را میکشد.

نیرنگ ظریف و ماهرانه اورفیرئوس تصادفاً فاش شد و علت این امر فقط آن بود که میان دکتر دانشمند با همسر و خدمتکارش که از راز وی اطلاع داشتند، مناقشه‌ای پیش آمد. اگر این پیشامد نمی‌کرد، لابد، ما تا به امروز هم در مورد این «محرک دائمی» که آنهمه سر و صدا راه انداخته بود، در حیرت و تعجب باقی میماندیم. از قرار معلوم، «محرک دائمی» واقعاً هم بوسیله اشخاصی که پنهان شده و طوری که کسی نبیند ریسمان باریکی را میکشیدند، به حرکت در می‌آمد. این اشخاص برادر و خدمتکار مخترع بودند.

با اینکه مشت مخترع باز شده بود، او قبول نمیکرد و تا آخر عمر با لجاجت اصرار میورزید که همسر و خدمتکارش بعلت کینه‌توزی نسبت به وی غمازی کرده‌اند. اما دیگر کسی به او اعتماد نمیکرد. بیهوده نبود که اورفیرئوس به شوماخر فرستاده پتر اول از کینه‌توزی آدمیان و از اینکه «جهان پر از اشخاص کینه‌توزی است که بهیچوجه نمیتوان به آنها اعتماد کرد»، سخن میگفت.

در زمان پتر اول در آلمان «محرک دائمی» دیگری نیز که مخترع آن شخصی بنام گرتنر بود، شهرت فراوان یافت. شوماخر در باره این ماشین نوشت: perpetuum mobile آقای گرتنر که من آن را در درزدن دیدم، ماشینی است که به شکل چرخ چاقوتیزکنی ساخته شده و از کیسهٔ کرباسی پر از شن عبارت است، خود بخود به جلو و عقب حرکت میکند، اما طبق گفتهٔ آقای مخترع، آن را نمیتوان زیاد بزرگ ساخت». بدون شک، کار این محرک نیز به جائی نمیرسید و در بهترین حالت دستگاه پیچیده و مرکبی بود و بوسیله یک محرک جاندار به حرکت در می‌آمد که با مهارت پنهان شده و بهیچوجه «دائمی» نبود. شوماخر کاملا حق داشت که به پتر نوشت که دانشمندان فرانسوی و انگلیسی «برای هیچ یک از این «محرک‌های دائمی» کوچکترین ارزشی قائل نیستند و میگویند که «محرک دائمی» با اصول ریاضیات مغایرت دارد».

فصل پنجم

خصوصیات مایعات و گازها

مسألهٔ دو کتری

در برابر شما دو کتری (شکل ۵۱) با پهنای برابر قرار دارد که یکی بلند و دیگری کوتاه است. گنجایش کدام یک از این دو کتری بیشتر است؟

لابد، عده زیادی بدون تأمل خواهند گفت که گنجایش کتری بلند از گنجایش کتری کوتاه بیشتر است. اما اگر توی کتری بلند آب یا مایع دیگری بریزید، فقط میتوانید تا سطح سوراخ لوله کتری آن را پر کنید، پس از آن، آب بیرون خواهد ریخت. چون سوراخ لولهٔ هر دو کتری در یک سطح است، پس گنجایش کتری کوتاه مساوی گنجایش کتری بلند با لوله کوتاه است.



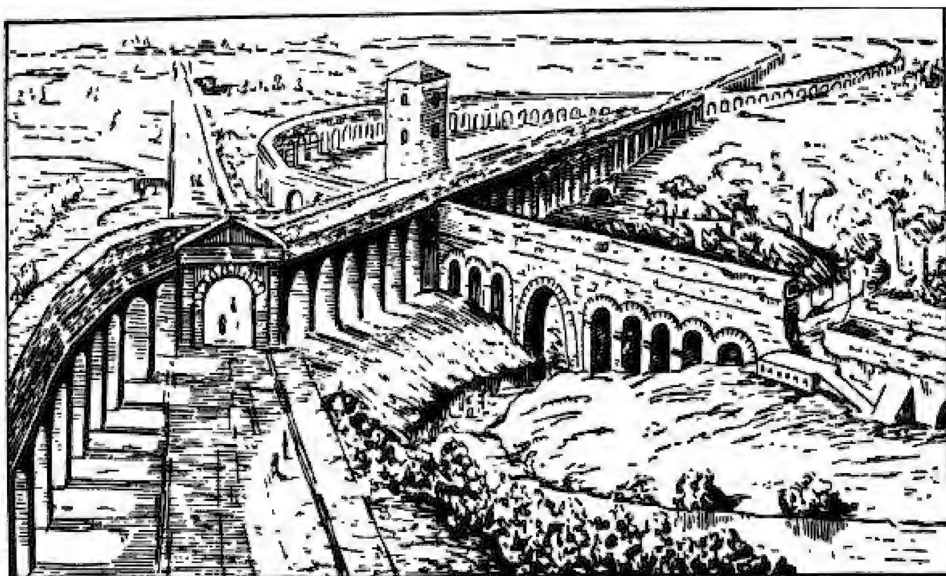
شکل ۵۱ — در کدام یک از این دو کتری بیشتر میشود مایع ریخت؟

این امر روشن است: با اینکه وزن مایع لوله کتری بمراتب کمتر از وزن مایع خود کتری است، مایع باید در لوله و در کتری، مانند همهٔ ظروف مرتبطه، در یک سطح بایستد. اگر لولهٔ کتری به اندازه کافی بلند نباشد، بهیچوجه نمیتوانید کتری را کاملا پر کنید: آب از لوله خواهد ریخت. معمولا لولهٔ کتری را کمی بلندتر از لبهٔ خود کتری میسازند، تا بتوان بدون اینکه آب بریزد، کتری را کمی کج کرد.

مردمان دوران باستان چه چیز را نمیدانستند

اهالی رم تاکنون نیز از لوله‌کشی آبی که در دوران باستان ساخته شده است، استفاده میکنند: بردگان رم برای لوله‌کشی آب، ساختمان‌های واقعاً خوب میساختند.

اما در مورد مهندسین رومی که کار رهبری این ساختمان ها را بر عهده داشتند، این حرف را



شکل ۵۲ — ساختمان لوله‌کشی آب رم باستان بصورت اولیه آن.

نمیتوان زد. کاملا روشن است که آنها اصول علم فیزیک را بحد کافی نمیدانستند. به شکل ۵۲ که از روی تابلوی موزه آلمان در مونیخ چاپ شده، نگاه کنید. می‌بینید که لوله‌کشی آب شهر رم زیر زمین ساخته نشده، بلکه بالای زمین، روی ستون‌های بلند سنگی ساخته شده است. چرا این کار را میکردند؟ مگر ساده‌تر نبود که همان کاری را بکنند که حالا در همه جا میکنند، یعنی لوله‌ها را زیر زمین بگذارند. البته که ساده تر بود، اما مهندسین آن زمان رم، از قوانین ظروف مرتبطه تصور بسیار مبهمی داشتند. آنها بیم آن را داشتند که مبادا در آب انبارهائی که بوسیله لوله‌های بسیار بلند به یکدیگر وصل شده‌اند، آب در یک سطح نایستد. اگر لوله‌ها در زیر زمین، موازی با شیب زمین کشیده شود، در بعضی جاها آب باید به بالا جاری شود، این بود که رومی‌ها میترسیدند، آب به بالا جاری نشود. باین دلیل آنها معمولا طوری لوله‌کشی میکردند که لوله‌ها در همه جا شیب یکسانی به پائین داشته باشند و برای این کار اغلب لازم می‌آمد که یا سربالائی‌ها را دور بزنند یا پایه‌های طاق دار بلند بسازند. طول یکی از لوله‌های آب رم بنام آکوا مارتسیا ۱۰۰ کیلومتر است، در صورتیکه فاصله مستقیم میان دو انتهای آن ۵۰ کیلومتر میباشد.

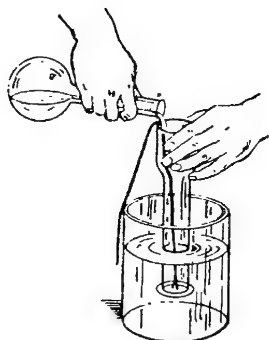
بعلت ندانستن یک قانون سادهٔ فیزیک مجبور شدند ۵۰ کیلومتر دیوار سنگی بکشند!

مایعات به بالا فشار می‌آورند!

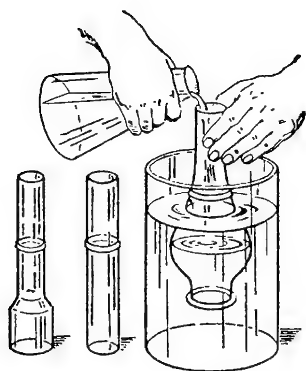
حتی کسانی که هرگز فیزیک نیاموخته‌اند، میدانند که مایعات به پائین، به ته ظرف و به اطراف، به دیواره‌های ظرف فشار می‌آورند. اما عدهٔ زیادی حتی تصور آن را هم نمیکنند که مایعات به بالا نیز فشار می‌آورند. به کمک یک لولهٔ چراغ معمولی میتوان اعتقاد راسخ یافت که واقعاً مایعات

از پائین به بالا فشار می‌آورند. از یک مقوای کلفت دایره‌ای کمی بزرگتر از سوراخ لولهٔ چراغ ببرید. دایرهٔ مقوائی را روی سوراخ لولهٔ چراغ بگذارید و بطوریکه در شکل ۵۳ نشان داده شده، لوله را توی آب فرو کنید. برای آنکه ضمن فرو کردن لوله در آب، دایره مقوائی نیفتد میتوان به وسیله نخی که از مرکز دایره گذرانده‌اید، یا با نوک انگشت دایره را نگهداشت. پس از آنکه لولهٔ چراغ را تا عمق معینی در آب فرو کردید، خواهید دید که دایرهٔ مقوائی بدون فشار انگشت یا کشیدن نخ هم نمی‌افتد: آب که از پائین به بالا به دایره فشار می‌آورد، آن را نگهمیدارد.

حتی میتوانید مقدار این فشار از پایین به بالا را اندازه بگیرید. آهسته توی لوله چراغ آب بریزید. همینکه سطح آب داخل لوله به سطح آب ظرف نزدیک شد، دایره مقوائی می‌افتد. بنا بر این، فشار آب به دایرهٔ مقوائی از پایین به بالا معادل میشود با فشار ستون آب از بالا به پائین، و ارتفاع این ستون آب با عمقی که دایره مقوائی در آب فرو رفته است، مساوی میباشد. قانون فشار مایعات بر هر جسمی که در مایع فرو رفته باشد، چنین است. ضمناً کم شدن وزن اجسام در داخل مایعات که در قانون معروف ارشمیدس ذکر شده است، از همین قانون نتیجه میشود.



شکل ۵۳ — یک آزمایش ساده برای آنکه یقین حاصل کنیم که مایعات از پائین به بالا فشار می‌آورند.



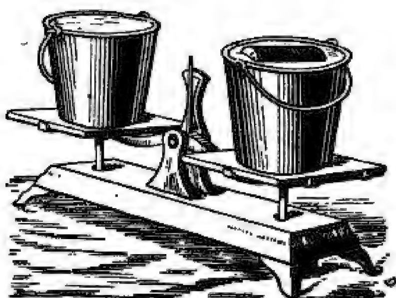
شکل ۵۴ — فشار مایعات به ته ظرف فقط بسته به مساحت ته ظرف و ارتفاع سطح مایع میباشد. در شکل نشان داده شده است که چگونه میتوان این قاعده را آزمایش کرد.

اگر چند لولهٔ چراغ به فرمهای مختلف که دهانهٔ همهٔ آنها یکسان باشد، در اختیار داشته باشید، میتوانید یک قانون دیگر مربوط به مایعات را آزمایش کنید، آن قانون این است: فشار مایعات به ته ظرف فقط بسته به سطح ته ظرف و ارتفاع مایع میباشد، اما به شکل ظرف هیچ بستگی ندارد. آزمایش به طریق زیر انجام میشود: لوله‌های مختلف الشکل را به عمق معینی در آب فرو میکنید، برای این کار قبلا به دور هر یک از لوله‌ها نوار کاغذی می چسبانید، بطوریکه ارتفاع نوار کاغذی از دهانهٔ پائینی لوله در همهٔ لوله‌ها مساوی باشد. خواهید دید که هر بار وقتی سطح آب به ارتفاع معین رسید، دایره مقوائی می‌افتد (شکل ۵۴). بنابر این اگر فقط قاعده و ارتفاع چند ستون آب به اشکال مختلف

مساوی باشند، فشار این ستون‌ها باهم مساوی است. توجه داشته باشید که در اینجا همانا ارتفاع مهم است، نه طول، زیرا یک ستون بلند مایل درست همان اندازه فشار می‌آورد که یک ستون کوتاه عمودی، به شرط آنکه قاعده و ارتفاع آنها مساوی باشند.

کدام یک سنگین‌تر است؟

در یک کفهٔ ترازو سطلی که تا لب پر آب است گذاشته شده. در کفهٔ دیگر سطلی عیناً نظیر سطل اولی گذاشته شده، که آن هم تالب پر آب است، اما در این سطل یک تکه چوب شناور است (شکل ۵۵). کدام سطل سنگین تر است؟



شکل ۵۵ — دو سطل مساوی و هر دو پر از آب هستند و در یک سطل یک تکه چوب شناور است. کدام سطل سنگین‌تر است؟

من این سئوال را به اشخاص مختلف داده‌ام و همیشه جواب های ضد و نقیض شنیده‌ام. بعضی جواب میدادند که سطلی که در آن تکهٔ چوب شناور است باید سنگین تر باشد، زیرا «در سطل علاوه بر آب، چوب هست». برخی جواب میدادند که برعکس، سطل اولی سنگین تر است، «زیرا آب از چوب سنگین تر است».

اما نه جواب اینها درست است و نه جواب آنها. وزن هر دو سطل مساوی است. البته در سطل دوم آب کمتر از سطل اول است، زیرا تکه چوبی که در آن شناور است، مقداری از آب را بیرون می‌ریزد و جای آن را میگیرد. اما طبق قانون اجسام شناور، وزن هر جسم شناوری مساوی وزن مایع هم حجم آن قسمت ازجسم است که در مایع فرو رفته است. باین دلیل استکه ترازو باید درحال تعادل باقی بماند.

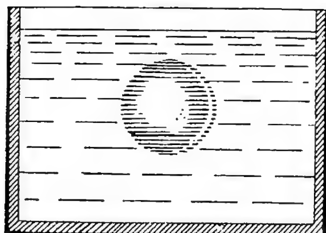
حالا یک مسأله دیگر را حل کنید. در یک کفهٔ ترازو استکانی که در آن مقداری آب است و یک وزنهٔ کوچک میگذاریم و در کفهٔ دیگر آنقدر وزنه تا ترازو به حال تعادل در آید بعد وزنهٔ کوچک‌را بر میداریم و توی استکان می‌اندازیم. ترازو به چه حالتی در می‌آید؟

طبق قانون ارشمیدس وزنهٔ کوچک در داخل آب سبک تر از آنچه در خارج از آب بوده است، میشود. ظاهراً میشود انتظار داشت که کفه‌ای که استکان در آن قرار دارد، بالا برود. اما در حقیقت ترازو به حال تعادل باقی میماند. چطور باید این پدیده را توضیح داد؟

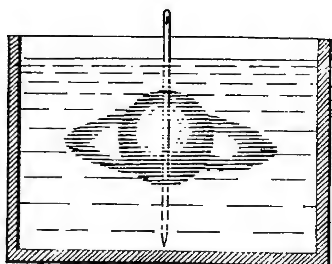
وزنهٔ کوچک در داخل استکان مقداری از آب را از جای خود بیرون می‌راند و آن مقدار آب بالاتر ازسطح اولیه قرارمیگیرد. درنتیجه، فشار بر ته ظرف افزایش می‌یابد و این افزایش فشار مساوی است با مقدار تقایل وزن وزنهٔ کوچک.

شکل طبیعی مایعات

ما عادت کرده‌ایم فکر کنیم که مایعات هیچ شکل مخصوص به خود ندارند. این فکر درست نیست. شکل طبیعی مایعات کره است. معمولا نیروی ثقل مانع میشود که مایعات این شکل را به خود بگیرند و اگر مایع را در ظرفی بریزیم شکل آن ظرف را به خود میگیرد یا اگر بدون ظرف باشد، بصورت ورقهٔ نازکی پخش میشود. چنانچه مایعی در داخل مایع دیگری که وزن مخصوص آنها مساوی باشد،



شکل ٥٦ — روغن در ظرف پر از مخلوط آب و الکل به شکل کره‌ای در می‌آید که نه پائین میرود و نه بالا می‌آید (آزمایش پلاتو).



شکل ٥٧ — اگر کره روغنی داخل الکل را بوسیله میله‌ای که از مرکز آن گذرانده‌ایم، بسرعت بچرخانیم، یک حلقه از کره جدا میشود.

قرار گیرد، طبق قانون ارشمیدس وزن خود را «از دست میدهد» و گوئی بی‌وزن میشود و نیروی ثقل بر آن تاثیر نمیکند، آنوقت مایع به شکل طبیعی خود، یعنی شکل کروی در می‌آید.

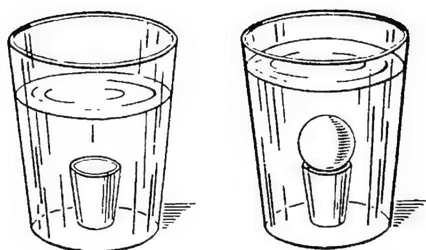
روغن زیتون روی آب میماند، اما اگر در الکل بریزیم، پائین میرود. بنا بر این میتوان مخلوطی از آب و الکل درست کرد که روغن زیتون در آن نه پائین برود و نه بالا بیاید. اگر بوسیله سرنگ قدری روغن زیتون به درون این مخلوط بریزیم، پدیده عجیبی خواهیم دید: روغن زیتون جمع میشود و به شکل قطرهٔ گرد بزرگی در می‌آید که نه پائین میرود و نه بالا می‌آید، بلکه بیحرکت معلق میماند* (شکل ٥٦). آزمایش را باید آرام و با حوصله و با احتیاط انجام داد و الا روغن زیتون نه به شکل یک قطرهٔ بزرگ، بلکه به شکل چند قطرهٔ کوچک در می‌آید. اما حتی در اینصورت هم آزمایش به حد کافی جالب است.

ولی آزمایش با این به پایان نمیرسد. یک میلهٔ چوبی بلند یا یک تکه سیم را از مرکز کره روغنی میگذرانند و میله یا سیم‌را میچرخانند. کره روغنی نیز با میله به چرخش در می‌آید. (اگر میله را از مرکز یک دایره مقوائی کوچک روغن‌اندود بگذرانید، بطوری که تمام دایره مقوائی در داخل کره روغنی قرار بگیرد، آزمایش بهتر انجام میگیرد). کره در اثر چرخش ابتدا بتدریج پهن میشود و بعد پس از چند ثانیه حلقه‌ای از آن جدا میشود (شکل ٥٧). سپس این حلقه پاره و به چند قسمت تقسیم میشود، اما این قسمت‌ها تکه‌های بی شکل نیستند، بلکه قطره‌های کروی شکلی هستند که در اطراف کره مرکزی به چرخش خود ادامه میدهند.

نخستین بار این آزمایش جالب را پلاتو فیزیسین بلژیکی انجام داد. در اینجا آزمایش بطوریکه خود پلاتو انجام داده، توصیف شده است. این آزمایش را میتوان طور دیگری نیز انجام داد که

---

* برای آنکه شکل کره تغییر یافته بنظر نیاید باید آزمایش را در ظرفی انجام داد که دیواره‌های مسطح داشته باشد (یا در ظرفی به هر شکل، اما در اینصورت باید آن ظرف را در داخل ظرف دیگری گذاشت که دیواره‌های مسطح داشته و پر از آب باشد).



شکل ٥٨ — آزمایش پلاتو به طریق ساده تر.

بمراتب آسان تر و تا حدی جالب تر است. یک استکان کوچک را آب میکشند و پر از روغن زیتون میکنند و توی یک استکان بزرگ می‌گذارند. در استکان بزرگ آهسته آنقدر الکل میریزند تا استکان کوچک کاملا توی الکل قرار بگیرد. بعد آهسته با قاشق به دیوارهٔ استکان بزرگ قطره قطره آب میریزند. سطح روغن زیتون در استکان کوچک محدب میشود، بتدریج تحدب افزایش می‌یابد و وقتی به اندازه کافی آب ریختند، روغن به شکل کرهٔ نسبتاً بزرگی از استکان کوچک بیرون می‌آید و در داخل مخلوط الکل و آب معلق می‌ماند (شکل ٥٨).

اگر الکل در دسترس نباشد، این تجربه را میتوان با آنیلین انجام داد. آنیلین مایعی است که در حرارت معمولی از آب سنگین تر و در حرارت ٧٥ — ٨٥ درجه سانتیگراد از آب سبک تر است. بنا بر این اگر آب را گرم کنیم، آنیلین به شکل قطرهٔ کروی بزرگی در می‌آید و در داخل آب شناور میشود. در حرارت معمولی داخل اطاق، قطره آنیلین در آب نمک معلق می‌ماند *.

چرا ساچمه گرد است؟

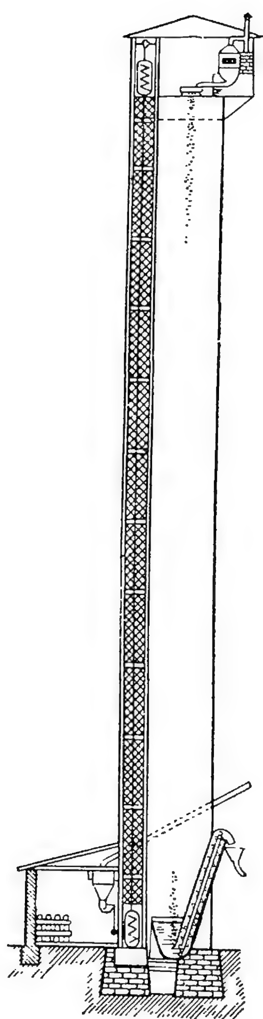
هم اکنون گفتیم که هر مایعی وقتی نیروی ثقل روی آن اثر نکند، به شکل طبیعی خود یعنی کروی در می‌آید. اگر آنچه را که در باره بی‌وزنی اجسام در حال سقوط قبلا گفته شد، بیاد داشته باشید و در نظر بگیرید که میتوان مقاومت مختصر هوا را در نخستین لحظه سقوط بحساب نیاورد **، آنوقت پی میبرید که قطرات مایع در حال سقوط هم باید به شکل کره‌های کوچک در آیند. واقعاً هم قطرات باران به شکل کره‌های کوچک هستند. ساچمه‌ها نیز قطرات سرب مذابی هستند که سرد

* از مایعات دیگر، ارتوتولوئیدین برای این آزمایش مناسب است. ارتوتولوئیدین مایعی است جگری رنگ که در حرارت ٢٤ درجه غلظت آن با غلظت آب نمک مساوی است. ارتوتولوئیدین را در داخل آب نمک می‌ریزند.

** — قطرات باران فقط در لحظهٔ اول سقوط، با شتاب فرود می‌آیند، تقریباً پس از نیم ثانیه، سقوط به صورت حرکت یکنواخت در می‌آید. زیرا متناسب با افزایش سرعت سقوط قطرهٔ باران، مقاومت هوا نیز افزایش می‌یابد و وزن قطرهٔ باران با مقاومت هوا تعادل پیدا میکند.

شده‌اند. در کارخانه، برای ساختن ساچمه، قطرات سرب مذاب را از ارتفاع زیادی به داخل آب سرد میریزند و قطرات سرب مذاب در داخل آب سرد به شکل گلوله‌های کاملا کروی در می‌آیند.

ساچمه‌هائی را که به این طریق ساخته میشود، ساچمه «برجی» مینامند، زیرا برای ساختن ساچمه قطرات سرب مذاب را از بالای برج بلند «ساچمه ریزی» به پائین میریزند (شکل ۵۹). برج کارخانهٔ ساچمه‌ریزی ساختمانی است فلزی به ارتفاع ۴۵ متر. دستگاه ریخته‌گری با چند دیگ ذوب فلز در بالای برج و مخزن آب در پائین قرار دارد. ساچمه‌هائی را که به این طریق ریخته میشود، باید برحسب بزرگی و کوچکی درجه‌بندی و روکاری و پرداخت کرد. قطرات سرب مذاب ضمن سقوط سرد و به ساچمه تبدیل میشوند، مخزن آب فقط برای آن لازم است که از شدت ضربت سقوط ساچمه‌ها بکاهد و از معیوب شدن شکل کروی آنها جلوگیری کند. (ساچمه‌های بقطر بیش از ۶ میلیمتر را که به چارپاره معروف است، به طریق دیگری میسازند: از سیم تکه‌های کوچکی می‌برند و آنها را میغلتانند و گرد میکنند).



شکل ۵۹ — برج کارخانه ساچمه‌ریزی.

جامی که مانند چاه ویل «هر چه در آن بریزی جا میگیرد»

در یک جام آنقدر آب بریزید تا کاملا پر شود. بعد یک مشت سنجاق پهلوی جام بگذارید. شاید در این جام پر آب برای یکی دو سنجاق هم جا مانده است؟ آزمایش کنید.

سنجاق‌ها را یکی یکی توی جام بیاندازید و بشمارید. البته باید خیلی با احتیاط بیاندازید: نوک تیز سنجاق را آهسته توی آب فرو ببرید و بدون تکان و فشار سنجاق را رها کنید، بطوری که آب در اثر لرزش بیرون نریزد. یک، دو، سه سنجاق به ته جام می‌افتد، اما سطح آب بالا نمی‌آید. ده، بیست، سی... اما آب بیرون نمیریزد. پنجاه، شصت، هفتاد، حتی صد سنجاق در ته جام است، با وجود این باز هم آب بیرون نمیریزد (شکل ۶۰)

نه فقط بیرون نمیریزد، بلکه حتی آنقدر هم از لب جام بالا نمی‌آید که بتوان دید. باز هم در جام سنجاق بیاندازید. دویست، سیصد، چهارصد سنجاق بیاندازید، باز هم یک قطره آب بیرون نمیریزد، اما حالا دیگر دیده میشود که چطور سطح آب بالا آمده و کمی از لب گیلاس بالاتر است. کلید حل این پدیده غیر قابل فهم در همین بالا آمدن آب است. اگر شیشه حتی کمی چرب باشد، آب شیشه را کم تر میکند. و اما لب جام، مانند هر ظرف دیگری که مورد استفاده ما قرار میگیرد، در نتیجه تماس انگشتان ما حتماً از قشر نازکی از چربی پوشیده میشود. آبی که در نتیجه انداختن سنجاق‌ها بالا آمده

است، بی‌آنکه لب جام را تر کند، برجستگی غیرقابل توجهی تشکیل میدهد که به چشم نمیخورد، اما اگر کمی به خودتان زحمت بدهید و حجم یک سنجاق را حساب کنید و با حجم آن برجستگی که بالاتر از لب جام قرار دارد، مقایسه کنید، یقین خواهید کرد که حجم یک سنجاق صدها بار از حجم آب بالا آمده کمتر است. به همین دلیل ممکن است در یک جام «پر» برای صدها سنجاق هم جا پیدا شود. هر چه ظرف گشادتر باشد به همان اندازه بیشتر سنجاق در آن جا میگیرد، زیرا حجم آب بالا آمده به همان اندازه بیشتر است.

برای روشن شدن مسأله، یک محاسبه تقریبی میکنیم. طول سنجاق در حدود ۲۵ میلیمتر و کلفتی آن نیم میلیمتر است. حجم چنین استوانه‌ای را از روی فرمول معروف هندسه ($\frac{\pi d^2 h}{4}$) میتوان به آسانی حساب کرد. حجم سنجاق ۵ میلیمتر مکعب و با کلاهک سر سنجاق در حدود ۵/۵ میلیمتر مکعب است.

شکل ۶۰ — یک آزمایش حیرت‌انگیز با تعدادی سنجاق در جام پر آب.

حالا حجم قشر آبی‌را که از لب جام بالا آمده است، حساب میکنیم. قطر جام ۹ سانتی متر یعنی ۹۰ میلیمتر است. سطح چنین دایره‌ای مساوی تقریبا ۶۴۰۰ میلیمتر مربع میشود. اگر فرض کنیم که ضخامت قشر آب بالا آمده فقط یک میلیمتر باشد، حجم آن ۶۴۰۰ میلیمتر مکعب، یعنی ۱۲۰۰ بار بیشتر از حجم سنجاق میباشد. بعبارت دیگر جام پر از آب هنوز گنجایش بیش از هزار سنجاق را دارد! واقعاً هم اگر سنجاق‌ها را آهسته و با احتیاط توی آب بیاندازیم، میتوان هزار سنجاق در جام جا داد، و بنظر می‌آید که گوئی تمام جام را پر کرده‌اند و حتی از لب جام هم بالا تر آمده‌اند، اما آب باز هم بیرون نخواهد ریخت.

ویژگی جالب و عجیب نفت سفید

کسانی که با چراغ نفتی سر و کار داشته‌اند، لابد با پدیده‌های ناگوار و ناراحت‌کننده‌ای که از یک ویژگی نفت سفید حاصل میشود، برخورد کرده‌اند. مخزن نفت چراغ را پر میکنید و از خارج آن را کاملا پاک و خشک میکنید، اما بعد از یک ساعت می‌بینید که از نو تر شده است.

علت این پدیده آنستکه سرپیچ چراغ را به اندازه کافی سفت نکرده‌اید و نفت که همیشه بسرعت در سطح شیشه پخش میشود، از مخزن بیرون می‌آید و سطح خارجی آن را تر میکند. اگر میخواهید خود را از اینگونه پیشامدهای ناگوار در امان بدارید، باید حتی الامکان سرپیچ چراغ را سفت ببندید*.

---

* اما وقتی سرپیچ را کاملا کیپ میکنید، یادتان نرود توجه کنید که مخزن چراغ تا لب پر نباشد، زیرا نفت وقتی گرم میشود به میزان نسبتاً زیادی انبساط می‌یابد (وقتی حرارت نفت صد درجه بالا برود، حجم آن به اندازه یک دهم افزایش می‌یابد) و برای اینکه مخزن نفت چراغ نترکد باید مقداری جا برای انبساط باقی گذاشت.

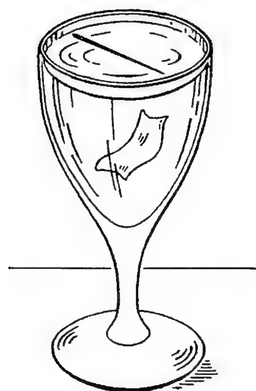
این خاصیت پخش شدن نفت در سطح، در کشتی‌هائی که موتورشان با نفت سفید (یا نفت سیاه) کار میکند، نتایج فوق‌العاده ناگواری به بار می‌آورد. در اینگونه کشتی ها، اگر تدابیر لازم اتخاذ نشده باشد، بهیچوجه هیچ کالائی نمیتوان حمل کرد، مگر همان نفت سفید یا سیاه‌را، زیرا نفت از سوراخ ها و درزهای خیلی کوچک باک‌ها بیرون می‌آید و نه فقط روی دیواره‌های فلزی خود باک‌ها پخش میشود، بلکه در همه چیز، حتی لباس سرنشینان، نفوذ میکند و همه اشیاء بوی تحمل‌ناپذیر نفت میگیرند. کوشش برای مبارزه با این پدیدهٔ زیان بخش در اکثر موارد بی نتیجه میماند.

جروم نویسنده فکاهی نویس انگلیسی که در داستان «سه نفر در یک قایق» راجع به نفت مطالب زیر را نوشته است، زیاد اغراق نگفته است:

«من ماده‌ای که بیش از نفت قابلیت نفوذ در همه چیز و همه جا را داشته باشد، نمی‌شناسم. ما ظرف نفت را در دماغهٔ قایق گذاشته بودیم، اما نفت از آنجا به انتهای دیگر قایق نفوذ کرده و هر چه را که در سر راهش قرار داشت، به بوی خود آغشته بود. از خلال تخته‌های دیواره‌های قایق تراوش میکرد و قطره قطره توی آب میچکید، آسمان و هوارا خراب و زندگی را بر ما تلخ میکرد. بادی که از بوی نفت اشباع شده بود، گاه از باختر و گاه از خاور، گاه از شمال و گاه از جنوب میوزید، اما چه از آرکتیک پوشیده از برف و چه از شن‌های کویر برخاسته باشد، در هر حال همیشه به روی ما میوزید. شامگاهان «رایحهٔ مطبوع» زیبائی‌غروب آفتاب را نابود میساخت و شب پرتو ماه نفت میپراکند... قایق را به پل بستیم و رفتیم تا در شهر کمی گردش کنیم، اما این بوی نفرت انگیز همانطور ما را تعقیب میکرد». تصور میرفت که سرتاسر شهربوی‌نفت گرفته بود. (البته فقط لباس مسافران به بوی نفت آغشته بوده است).

این خصوصیت نفت که سطح خارجی مخازن را تر میکند، سبب پیدایش فکر نادرستی شده بود که گویا نفت میتواند از خلال فلز و شیشه نفوذ کند.





شکل ۶۱ — سوزنی که روی آب شناور میماند. در بالا مقطع سوزن (به کلفتی ۲ میلیمتر) و شکل دقیق فرو رفتگی آب (۲ بار بزرگ شده است)، در پائین طرز شناور ساختن سوزن بوسیله یک تکه کاغذ، نشان داده شده است.

سکه‌ای که زیر آب نمیرود

سکه‌ای که زیر آب نمیرود نه فقط در افسانه‌ها، بلکه در واقع هم وجود دارد. اگر چند آزمایش آسان بکنید، به صحت این مدعا معتقد میشوید. از اشیاء کوچک، مثلا از سوزن شروع میکنیم. ظاهراً تصور میرود ممکن نیست کاری کرد که سوزن فولادی در سطح آب شناور بماند، اما این کار چندان دشوار نیست. روی آب یک تکه کاغذ سیگار و روی کاغذ یک

سوزن کاملا خشک بگذارید. حالا فقط یک کار میماند و آن اینکه تکهٔ کاغذ سیگار را آهسته از زیر سوزن بردارید. برای این کار یک سوزن دیگر یا یک سنجاق بردارید و بانوک آن آهسته ابتدا کنارههای کاغذ و بتدریج وسط آن را توی آب فرو کنید. وقتی تمام تکهٔ کاغذ خیس شد، به زیر آب میرود، اما سوزن همانطور در سطح آب شناور میماند (شکل ۶۱). حتی میتوانید به وسیله یک آهن‌ربا که در ارتفاع سطح آب به دیواره جام نزدیک میکنید، این سوزن شناور روی آب را به هر سو که بخواهید حرکت بدهید.

با کمی ورزیدگی میتوانید بدون کاغذ سیگار هم این کار را بکنید: با دو انگشت وسط سوزن را بگیرید و از ارتفاع کمی سوزن را به حالت افقی روی سطح آب رها کنید.

بجای سوزن میتوان سنجاق (کلفتی هیچ یک از آنها نباید بیش از ۲ میلیمتر باشد)، دکمه سبک و یا اشیاء فلزی کوچک و پهن را روی سطح آب شناور بسازید. وقتی در این کار مهارت یافتید، بکوشید کاری بکنید که سکهٔ کوچک روی سطح آب شناور بماند.

علت اینکه این اشیاء فلزی روی آب شناور میمانند آنستکه فلزی که دست ما بوده و در نتیجه از قشر نازکی چربی پوشیده شده است، در آب زود تر نمیشود. به این دلیل در سطح آب دور سوزنی که روی آب شناور است، فرو رفتگی‌ای به وجود می‌آید که میتوان باچشم دید. قشر بالائی آب که میخواهد صاف بشود، از زیر به سوزن فشار می‌آورد و به این وسیله آن را نگهمیدارد. بعلاوه، طبق قانون اجسام شناور، نیروی بیرون‌راننده مایع نیز سوزن را از زیر نگهمیدارد: نیروئی که از زیر به سوزن فشار می‌آورد مساوی است با وزن آبی که سوزن از جای خود بیرون رانده است.

ساده‌ترین راه برای آنکه سوزن روی آب شناور بماند آنستکه به سوزن روغن بمالید. چنین سوزنی را میتوان مستقیماً روی آب گذاشت، و سوزن زیر آب نمیرود.

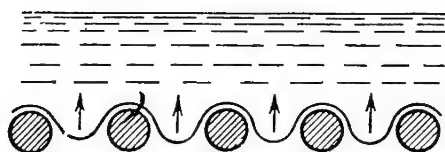
آب در غربال

از قرار معلوم، نه فقط در افسانه‌ها، بلکه در واقع هم میتوان در غربال آب برد. دانستن فیزیک امکان میدهد تا این کار را که از قدیم الایام محال شمرده میشد، انجام داد. برای این کار باید یک غربال سیمی به قطر در حدود ۱۰ سانتیمتر که سوراخ های آن زیاد ریز نباشد (در حدود یک میلیمتر)، برداشت و تور سیمی آن را در پارافین مذاب فرو کرد و بیرون آورد. روی سیم‌ها ورقهٔ نازکی از پارافین پوشیده میشود که بزحمت میتوان آن‌را دید.

غربال همان غربال است و سوزن به راحتی از سوراخ های آن میگذرد، اما حالا میتوانید، واقعاً در این غربال آب ببرید. در چنین غربالی قشر نسبتاً کلفتی از آب میماند و از سوراخ ها نمیریزد. فقط باید آب را آهسته و با احتیاط ریخت و مواظب بود که به غربال تکان شدید وارد نیاید.

چرا آب از سوراخ های این غربال نمیریزد؟ زیرا آب که پارافین را تر نمیکند، در سوراخ های غربال به شکل ورقه‌های نازک محدب در می‌آید که قسمت محدب آنها رو به پائین است و همین ورقه‌های نازک محدبی آب را نگهمیدارند (شکل ۶۲).

این غربال پارافین‌اندود را میتوان روی آب گذاشت، و غربال زیر آب نمیرود. پس، نه فقط میتوان آب در غربال برد، بلکه میتوان توی غربال روی آب حرکت کرد.

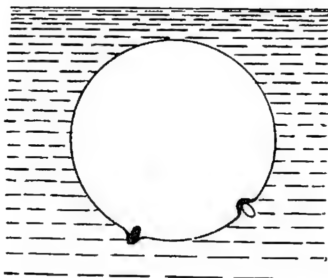


شکل ۶۲ — چرا آب از غربال پارافین اندود نمیریزد.

بسیاری از پدیده‌ها را که ما بیش از حد به آنها عادت کرده‌ایم و به علل آنها نمی‌اندیشیم، از روی این آزمایش عجیب می توان توضیح داد. قیراندود کردن بشکه‌ها و قایق‌ها، روغن زدن توپی‌ها و بوشینگ ها، رنگ کردن با رنگ روغنی و بطور کلی پوشاندن همه اجسامی که میخواهیم آب در آنها نفوذ نکند، از یک قشر نازک مواد روغنی، و نیز آغشتن پارچه‌ها به مواد لاستیکی — همه اینها چیزی نیست جز ساختن غربالی مانند همان غربالی که هم اکنون شرح داده شد. ماهیت امر در کلیهٔ این موارد یکی است، فقط در مورد غربال به شکل خارق العاده‌ای نمودار میشود.

کف در خدمت تکنیک

آزمایش شناور شدن سوزن فولادی و سکهٔ مسی در آب با پدیده‌ای که در صنایع استخراج معادن برای « پرعیار کردن » سنگ معدن، یعنی برای افزایش اجزأ متشکله پرارزش سنگ معدن، از آن استفاده میشود، همانند است. در صنایع استخراج معادن برای پرعیار کردن سنگ معدن طرق و وسائل زیادی وجود دارد. راهی که ما اکنون در نظر داریم و بنام « فلوتاسیون » معروف است، مؤثرترین طریقه میباشد. این طریقه حتی درمواردی که با هیچ یک از طرق دیگر نمیتوان به مقصود رسید، با موفقیت مورد استفاده قرارمیگیرد. اصول فلوتاسیون (یعنی شناور ساختن) بقرار زیر است: سنگ معدن را کاملا میکوبند و آرد میکنند و در تغاری پر از مخلوط آب و مواد روغنی میریزند. این مواد روغنی از روغن‌هائی است که ذرات مادهٔ معدنی مورد لزوم را از ورقهٔ بسیار نازکی میپوشانند که درآب تر نمیشود. این مخلوط را با هوا بشدت بهم میزنند و در نتیجه تعداد بسیار زیادی حباب‌های کوچک، یعنی کف بوجود می‌آید. ضمن بهم‌زدن مخلوط، ذرات مادهٔ معدنی که روی آن قشر نازکی از روغن پوشیده شده است، وقتی با پوستهٔ حباب هوا تماس پیدا کردند به آن می چسبند و از



شکل ۶۳ — فلوتاسیون به این طریق صورت میگیرد.

---

* « فلوتاسیون » یعنی جدا کردن اجزأ متشکلهٔ یک مخلوط بوسیله شناور کردن آن در مایعات (مترجم).

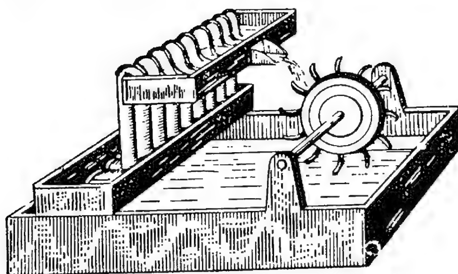
حباب آویزان میشوند. حباب هوا این ذرات را به بالا میبرد، همانطور که بالون هوائی سبدی را که به آن بسته شده است، در هوا بلند میکند (شکل ۶۳). ذرات مواد غیر معدنی که از قشر نازک روغنی پوشیده نشده‌اند، به پوسته حباب نمی‌چسبند و در داخل مایع میمانند. باید یادآور شد که حباب هوائی کف بمراتب بزرگتر از ذرهٔ مادهٔ معدنی میباشد و نیروی شناوری آن آنقدر هست که بتواند ذرات کوچک سفت را با خود به بالا ببرد. در نتیجه، تقریباً تمام ذرات مادهٔ معدنی در داخل کفی قرار میگیرند که روی مایع را پوشانده است. کف را میگیرند و برای عمل آوردن بعدی، یعنی برای تولید مادهٔ معدنی «کنسانتره» میفرستند. عیار این کنسانتره، یعنی میزان مادهٔ معدنی داخل آن ده بار بیش از سنگ معدن اولیه است.

تکنیک فلوتاسیون بقدری دقیق و همه جانبه بررسی و تکمیل شده است که با انتخاب مایعات مناسب و مخلوط کردن آنها، میتوان هر مادهٔ معدنی را از کلیهٔ ترکیبات سنگ‌ها و مواد غیر معدنی جدا کرد.

باید یاد آور شد که خود ایده فلوتاسیون از راه تئوری پیدا نشده، بلکه توجه دقیق به یک حادثهٔ تصادفی موجب پیدایش آن شده است. در اواخر قرن نوزدهم میلادی یک آموزگار امریکائی بنام کاری اورسون وقتی کیسه‌های چربی را که قبلا پیریت مس در آنها نگهداری میشده، می‌شست، متوجه شد که ذرات پیریت با کف صابون به روی آب می‌آمدند. همین امر نخستین سبب رشد و تکامل طریقهٔ فلوتاسیون شد.

محرک «دائمی» خیالی

دستگاهی که ساختمان آن در پائین شرح داده میشود (شکل ۶۴) گاهی در کتاب‌ها بعنوان یک محرک «دائمی» واقعی توصیف شده است. روغن یا آبی که در ظرفی ریخته شده است، ابتدا بوسیلهٔ چند فتیله به ظرف دیگر و از آنجا بوسیلهٔ چند فتیلهٔ دیگر به ظرف بالاتر میرود. ظرف بالائی دارای ناودانی است که روغن از آن روی پره‌های چرخی میریزد و چرخ را به چرخش در می‌آورد. روغنی که



شکل ۶۴ — گردونه‌ای که ساختن آن ممکن نیست.

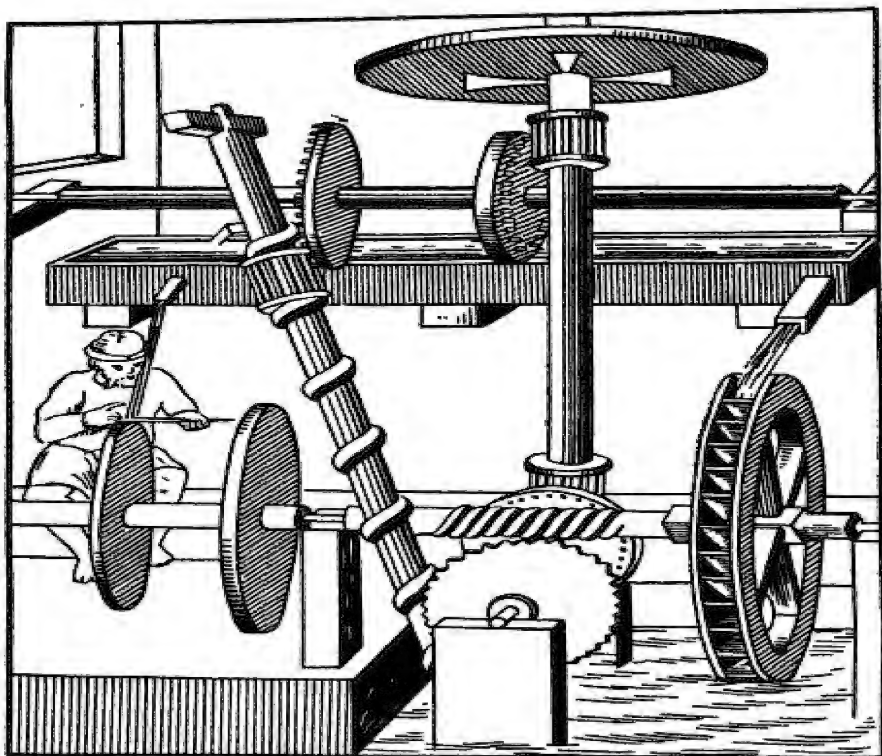
پائین ریخته است از نو بوسیله همان فتیله‌ها به ظرف بالائی میرود. بدین ترتیب، روغن بلاانقطاع روی پره‌های چرخ میریزد و چرخ باید دائماً بچرخد...

اگر مؤلفینی که این گردونه را توصیف کرده‌اند، به خود زحمت میدادند و آن را میساختند، یقین حاصل میکردند که نه فقط چرخ نمی‌چرخد، بلکه حتی یک قطره مایع هم به ظرف بالائی نمیرود.

اما بدون ساختن گردونه هم میتوان به این واقعیت پی برد. حقیقتاً هم، چرا مخترع فکر میکند که روغن باید از قسمت بالائی کج شده فتیله پائین بریزد؟ ربایش موئی بر ثقل فزونی می‌یابد و

مایع را از فتیله بالا میبرد، اما همین ربایش موئی مایع‌را در خلل و فرج فتیله نگهمیدارد و مانع چکیدن آن میشود. اگر فرض کنیم که ممکن است مایع در نتیجه عمل نیروی ربایش موئی به ظرف بالائی گردونهٔ خیالی ما برود، باید قبول کرد که همان فتیله‌هائی که گویا مایع‌را به ظرف بالائی برده‌اند، خودشان باید آن را به ظرف پائینی برگردانند.

این محرک دائمی خیالی شبیه دستگاه آبی حرکت «دائمی» است که «استرادو بزرگ» مکانیسین ایتالیائی در سال ۱۵۷۵ اختراع کرده بود. ما این طرح عجیب را توصیف میکنیم (شکل ۶۵). پیچ ارشمیدس می‌چرخد و آب را به ظرف بالائی می‌برد، آب از ناودان این ظرف روی پره‌های چرخ پائینی سمت راست میریزد و آن را به چرخش در می‌آورد. چرخ آبی دستگاه چاقوتیزکنی را می‌چرخاند و در عین حال چند چرخ دندانه‌دار همان پیچ ارشمیدس‌را به حرکت در می‌آورد و پیچ ارشمیدس آب را به ظرف بالائی می‌برد. خلاصه، پیچ چرخ را میچرخاند و چرخ پیچ‌را !... اگر ساختن چنین دستگاه‌هائی ممکن بود، ساده‌ترین راه این بود که اینطور بسازیم: طنابی روی قرقره‌ای بیاندازیم و به دو سرطناب دو وزنه مساوی ببندیم. وقتی یک وزنه پائین می‌آمد، وزنه دیگر را بالا می‌برد و وقتی وزنه دوم از ارتفاعی که داشت پائین می‌آمد وزنه اول را بالا می برد. این محرک «دائمی» چه عیبی دارد؟



شکل ۶۵ — یک طرح قدیمی محرک «دائمی» آبی برای چرخ چاقو تیزکنی.

حباب صابون

آیا میتوانید با فوت حباب صابون درست کنید؟ این کار آنقدرها هم که تصور میکنید آسان نیست. من هم تصور می‌کردم که برای این کار هیچ ورزیدگی و مهارتی لازم نیست، تا اینکه عملا یقین حاصل کردم که درست کردن حباب‌های صابون بزرگ و زیبا بافوت یک نوع هنری است که احتیاج به تمرین‌وورزیدگی دارد. اما آیا هیچ ارزش دارد که وقت خود را صرف چنین کار بیهوده‌ای، یعنی درست کردن حباب صابون، بکنیم؟

حباب صابون در زندگی عادی میان مردم شهرت بدی دارد، لااقل ما خیالات خام و بی‌اساس را به حباب صابون تشبیه میکنیم. اما فیزیسین به حباب صابون بنظر دیگری مینگرد. کلوین دانشمند بزرگ انگلیسی نوشته است: «یک حباب صابون درست کنید و به آن بنگرید: میتوانید تمام عمر به بررسی آن مشغول شوید و مرتب از آن درس فیزیک بگیرید».

واقعاً هم رنگین کمان‌های شگفت‌آور روی قشر بسیار نازک حباب صابون به فیزیسین امکان میدهد تا طول امواج نور را اندازه بگیرد، و بررسی قوه انبساط این قشرهای بسیار نازک به وی کمک میکند تا قوانین عمل نیروها میان ذرات را بیاموزد، آن نیروی هم‌چسبی که اگر نمیبود در جهان جز گرد بسیار نرم هیچ چیز وجود نداشت.

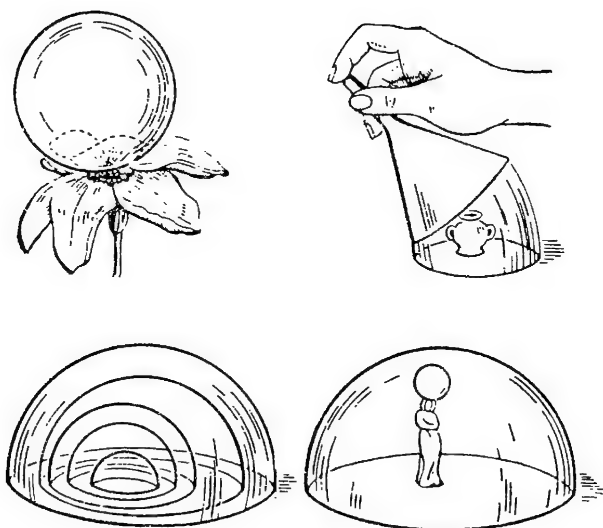
چند آزمایشی که در پائین شرح داده میشود، بمنظور بررسی این مسائل جدی نیست، بلکه سرگرمی جالبی است که فقط ما را با هنر درست کردن حباب صابون بافوت آشنا میکند. چارلز بویس فیزیسین انگلیسی در کتاب «حباب‌های صابون» تعداد بسیار زیادی آزمایش‌های گوناگون با حباب صابون را شرح داده است. ما به علاقمندان توصیه میکنیم این کتاب کم‌نظیر را بخوانند، و در اینجا فقط ساده ترین آزمایش‌ها را شرح میدهیم.

این آزمایش ها را میتوان با صابون رخت‌شوئی معمولی انجام داد*. اما به کسانی که مایل باشند، توصیه میکنیم از صابون روغن زیتون یا روغن بادام استفاده کنند، این صابون‌ها برای درست کردن حباب صابون بزرگ و زیبا مناسب تر هستند. یک تکه از این صابون‌ها را در آب پاک سرد آهسته و بتدریج حل میکنند تا محلول بحد کافی غلیظی بدست آید. بهتر است از آب باران یا آب برف پاک استفاده کرد، و چنانچه آب باران یا آب برف در دسترس نباشد، از آب جوشیده سرد هم میتوان استفاده کرد. برای آنکه حباب صابون مدت زیادی بماند، پلاتو توصیه میکند که به محلول آب صابون $\frac{۱}{۳}$ (بر حسب حجم) گلیسرین اضافه شود. با قاشق کف و حباب‌های روی محلول را میگیرند و بعد لوله باریک سفالی را که قبلا به نوک آن از داخل و خارج صابون مالیده‌اند، در محلول فرو میکنند. با ساقهٔ گندم خشکی که یک سر آن را به شکل صلیب شکافته باشند، نیز نتایج خوبی بدست می‌آورند.

برای درست کردن حباب به طریق زیر عمل میکنند: لوله را در محلول فرو میکنند و عمودی نگاه میدارند، بطوری که سر لوله را ورقهٔ نازکی از مایع بپوشاند و آهسته در لوله میدمند. چون حباب از هوای گرم ریه ما پر میشود و این هوا از هوای اطاق سبک تر است، حبابی که درست میشود، فوراً به بالا میرود.

---

* صابون‌ های دست و روشوئی برای این منظور کمتر مناسب هستند.



شکل ٦٦ — چند آزمایش با حباب صابون: حباب صابون روی گل، حباب صابون دور گلدان، چند حباب صابون یکی در داخل دیگری، حباب صابون روی مجسمه کوچک در داخل حباب دیگر.

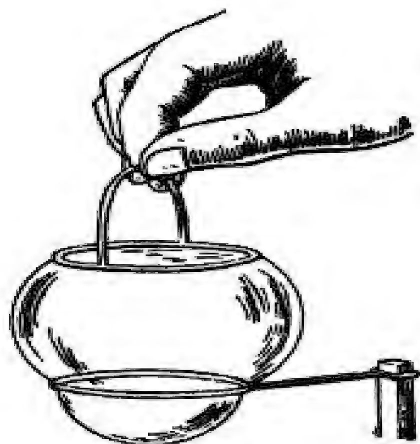
اگر در اولین بار حبابی به قطر تقریباً ١٠ سانتیمتر درست شد، محلول خوب است. در غیر اینصورت آنقدر صابون به محلول می‌افزایند تا حباب‌هائی به قطر ١٠ سانتیمتر درست شود. اما این کار برای امتحان کردن محلول کافی نیست. وقتی حباب درست شد، انگشت را در آب صابون تر میکنند و میکوشند انگشت را توی حباب فرو کنند. اگر حباب نترکید، میتوان آزمایش‌ها را شروع کرد، اما اگر ترکید باید باز هم کمی صابون به محلول افزود.

آزمایش‌ها را باید آهسته و آرام و با احتیاط انجام داد. روشنائی باید حتی المقدور زیاد باشد و الا تمام رنگ‌های رنگین کمانی حباب‌ها دیده نمیشود.

اینک چند آزمایش جالب با حباب صابون:

حباب صابون به دور گل. در یک بشقاب یا سینی آنقدر آب صابون میریزند تا کف بشقاب از قشری به کلفتی ٢ — ٣ میلیمتر پوشیده شود. در وسط بشقاب یک گل یا گلدان کوچکی و روی گل یا گلدان یک قیف شیشه‌ای میگذارند. بعد قیف را آهسته بلند میکنند و در ضمن در لولهٔ باریک آن میدمند. حباب صابونی درست میشود. وقتی حباب بحدکافی بزرگ شد، قیف را بطوریکه در شکل ٦٦ نشان داده شده، کج میکنند تا حباب صابون از زیر قیف بیرون بیاید. آنوقت گل زیر کلاهک نیم دایره‌ای حباب صابون قرار میگیرد که همهٔ رنگ‌های رنگین کمان در آن میدرخشد.

میتوان بجای گل یک مجسمه کوچک برداشت و روی سر آن تاجی از حباب صابون گذاشت (شکل ٦٦). برای این کار باید قبلا کمی آب صابون روی سر مجسمه چکاند، و بعد وقتی حباب بزرگ



شکل ٦٧ — چگونه باید حباب صابون استوانه‌ای درست کرد.



شکل ٦٨ — قشر حباب صابون هوا را با فشار بیرون میدهد.

درست شد، لوله باریکی در حباب بزرگ فرو کرد و در محلول روی سر مجسمه دمید تا حباب کوچکی درست شود.

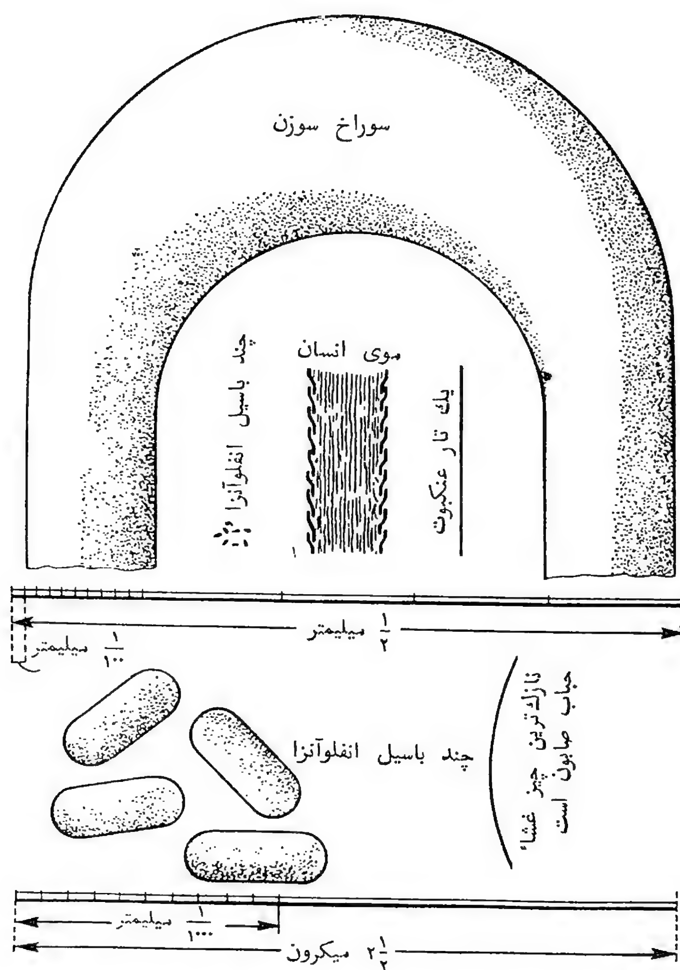
چند حباب یکی درون دیگری (شکل ٦٦). با قیفی که در آزمایش پیش بکار رفت، مانند همان آزمایش، یک حباب صابون بزرگ درست میکنند. بعد یک ساقهٔ گندم خشک را کاملا در آب صابون فرو میبرند، بطوریکه فقط آن سر ساقهٔ گندم که باید به دهن گرفت، خشک بماند. بعد ساقهٔ گندم را در حباب بزرگ فرو میکنند تا نوک ساقهٔ گندم به مرکز حباب برسد و از نو آهسته آن را تا نزدیک قشر حباب بزرگ بیرون میکشند و در آن میدمند تا در داخل حباب بزرگ حباب دوم درست شود، بعد در داخل حباب دوم حباب سوم و چهارم و الی آخر.

حباب صابون استوانه‌ای. با دو حلقهٔ سیمی میتوان حباب صابون استوانه‌ای درست کرد (شکل ٦٧). برای این کار یک حباب صابون معمولی کروی روی حلقهٔ پائینی میگذارند. بعد حلقهٔ دوم را که قبلا با محلول تر کرده‌اند، به حباب میچسبانند و حلقه را بالا میبرند و حباب صابون را آنقدر میکشند تا استوانه‌ای شود. جالب است که اگر حلقهٔ بالائی را به ارتفاع بیش از طول محیط حلقه بالا ببرید، یک طرف استوانه باریک و طرف دیگرش گشاد میشود و بعد به دو حباب تقسیم میشود.

قشر حباب صابون همیشه در حال کشش قرار دارد و بر هوای درون حباب فشار می‌آورد. اگر لوله قیف را به طرف شعله شمع بگیرید، می‌فهمید که نیروی این قشر بسیار نازک آنقدرها هم ناچیز نیست. شعله بطور محسوسی از نوک لولهٔ قیف دور میشود (شکل ٦٨).

وقتی حباب صابون از جای گرم به جای سرد یا برعکس از جای سرد به جای گرم میرود، تماشا و دقت در آن جالب است. ظاهراً وقتی از جای گرم به جای سرد میرود، حجم آن کم و وقتی از جای سرد به جای گرم میرود، برعکس حجم آن زیاد میشود. البته علت این امر در منقبض و منبسط شدن هوای درون حباب است. اگر مثلا در سرمای ١٥ — درجه سانتیگراد حجم حباب صابون ١٠٠٠ سانتیمتر مکعب باشد و حباب را به جائی ببریم که حرارت آن ١٥ + درجه سانتیگراد است، باید حجم حباب تقریباً ١١٠ سانتیمتر مکعب ($1000 \times 30 \times \frac{1}{273} = 110$) افزایش بیابد.

باید یاد آور شد که تصورات معمولی در باره ناپایداری حباب صابون آنقدرها هم درست نیست. اگر از حباب صابون آنطور که باید و شاید نگاهداری شود، میتوان آن را دهها روز حفظ کرد. دیوآر فیزیسین انگلیسی (که با آثار خود در باره مایع کردن هوا شهرت بسزائی کسب کرده بود) حباب‌های صابون را در بطری‌های مخصوص نگاهداری میکرد که از گرد و خاک و خشک شدن و



شکل ۶۹ — در بالا سوراخ سوزن، موی انسان، چند باسیل و یک تار عنکبوت که به مقیاس ۲۰۰ بار بزرگ شده‌اند. در پائین چند باسیل و غشاء حباب صابون که به مقیاس ۴۰۰۰۰ بار بزرگ شده‌اند.

۱ میکرون = ۰/۰۰۰۱ سانتیمتر

ارزش هوا کاملا محفوظ بودند. او موفق شد در این شرایط بعضی از حباب‌های صابون را یک ماه و حتی بیشتر حفظ کند. لورنس امریکائی موفق شد حباب‌های صابون را سال ها زیر کلاهک شیشه‌ای حفظ کند.

نازک‌ترین چیز چیست؟

لابد عدهٔ کمی میدانند که غشاء حباب صابون یکی از نازک‌ترین چیزهائی است که با چشم غیر مسلح میتوان دید. چیزهائی که ما معمولا در تشبیه برای بیان نازکی و باریکی از آنها استفاده میکنیم، در مقایسه با غشاء حباب صابون فوق‌العاده کلفت هستند. « باریک مانند مو »، « نازک مانند کاغذ سیگار » اما مو و کاغذ سیگار در مقایسه با غشاء حباب صابون اجسام بسیار کلفتی هستند، و غشاء حباب صابون ۵۰۰۰ بار از مو و کاغذ سیگار نازک تر است. اگر موی انسان را به مقیاس ۲۰۰ بار بزرگ بکنیم، در حدود یک سانتیمتر کلفتی خواهد داشت، اما اگر مقطع غشاء حباب صابون را به همین مقیاس بزرگ کنیم، باز هم با چشم دیده نمیشود. مقطع حباب صابون را باید باز هم به مقیاس ۲۰۰ بار بزرگ کرد تا به صورت خط نازکی دیده شود. اما اگر مورا به این مقیاس (۴۰۰۰۰ بار !) بزرگ کنیم، بیش از ۲ متر کلفتی خواهد داشت. در شکل ۶۹ این نسبت‌ها بطور واضحی نشان داده شده است.

بدون تر کردن انگشتان از آب

در یک بشقاب لب تخت بزرگ یک سکه بگذارید و آنقدر آب در بشقاب بریزید که سکه کاملا زیر آب برود. بعد به مهمانان بگوئید که سکه را با دست لخت بردارند، بدون اینکه انگشتانشان تر بشود.

این مسألهٔ ظاهراً غیر قابل حل، به کمک یک استکان و یک تکه کاغذ شعله‌ور، به آسانی حل میشود. کاغذ را آتش بزنید و همانطور که میسوزد توی استکان بگذارید، استکان را بسرعت برگردانید و پهلوی سکه توی بشقاب بگذارید. کاغذ خاموش و استکان از دود سفیدی پر میشود، بعد تمام آب بشقاب خود بخود زیر استکان جمع میشود. البته، سکه در جای خود باقی میماند و پس از یکی دو دقیقه خشک میشود، آنوقت شما میتوانید بدون تر کردن انگشتان سکه را بردارید.

چه نیروئی آب را به درون استکان برده و در ارتفاع معینی نگاه میدارد؟ فشار جو. کاغذ شعله‌ور هوای داخل استکان را گرم کرده، در نتیجه فشار هوا افزایش یافته و مقداری از گاز از استکان خارج میشود. وقتی کاغذ خاموش شد هوا از نو سرد و ضمن سرد شدن فشارش کم میشود و در اثر فشار هوای خارج از استکان، آب به زیر استکان میرود.

میتوان بجای کاغذ از یکی دو چوب کبریت که در چوب‌پنبه‌ای فرو کرده‌اید، استفاده کرد (شکل ۷۰).

اغلب اوقات این آزمایش قدیمی را نادرست توضیح میدهند و حتی در کتاب ها مینویسند*. یعنی میگویند که ضمن سوختن کاغذ « اکسیژن میسوزد » و در نتیجه مقدار گاز زیر استکان کم میشود.

---

* این آزمایش برای نخستین بار در آثار فیلون بیزانسی فیزیک‌دان باستانی که در حدود قرن اول قبل از میلاد میزیسته است، توصیف و درست تشریح شده است.



شکل ۷۰ — چگونه باید تمام آب بشقاب را در استکانی که وارونه روی بشقاب میگذارید، جمع کرد.

این توضیح بکلی نادرست است. علت اصلی فقط در گرم شدن هوا است، نه در جذب قسمتی از اکسیژن ضمن سوختن کاغذ. زیرا: اولا — میتوان بدون کاغذ شعله‌ور نیز آزمایش را انجام داد، یعنی استکان را با آب جوش آب کشید و گرم کرد. ثانیاً — اگر بجای کاغذ یک تکه پنبه آغشته به الکل را که مدت زیادتری میسوزد و هوارا بیشتر گرم میکند، برداریم، آنوقت آب تقریباً تا وسط استکان بالا میرود، در صورتیکه میدانیم اکسیژن فقط $\frac{1}{5}$ حجم هوارا تشکیل میدهد. بالاخره، باید در نظر داشت که بجای اکسیژن «سوخته شده» گاز اسید کربنیک و بخار آب تولید میشود. البته گاز اسید کربنیک در آب حل میشود، اما بخار آب میماند و جای قسمتی از اکسیژن را میگیرد.

چطور ما می‌نوشیم؟

واقعاً در باره این مسأله هم باید فکر کرد؟ البته! ما استکان یا قاشقی را که در آن مایع است، به دهانمان می‌چسبانیم و مایع را به دهانمان «میکشیم». همین «کشیدن» سادهٔ مایع را که ما اینهمه به آن عادت کرده‌ایم، باید توضیح داد. واقعاً هم چرا مایع به دهان ما میرود؟ چه چیزی آن را میکشد؟ علت اینست: ما هنگام آشامیدن قفسه سینه را باز میکنیم و با این عمل هوای داخل دهان را رقیق میکنیم. مایع تحت فشار هوای خارج به جائی رانده میشود که فشار هوا کمتر است و به این ترتیب به دهان ما میریزد. در این مورد همان عملی صورت میگیرد که اگر هوای بالای یکی از ظروف مرتبطهٔ پر از مایع را رقیق کنیم، صورت خواهد گرفت، یعنی مایع درون این ظرف تحت تأثیر فشار جو بالا خواهد آمد. اما اگر دهانه بطری را به دهن بگیرید، بهیچوجه نمیتوانید آب داخل آن را به دهانتان «بکشید»، زیرا فشار هوا در دهان شما و در بالای آب مساوی است.

بدین ترتیب، اگر بخواهیم دقیق توضیح بدهیم، در عمل نوشیدن، نه فقط دهان، بلکه ریه‌ها نیز شرکت میورزند، زیرا علت آنکه مایع به دهان ما میرود، همانا باز کردن ریه‌ها است.

قیف خوب

کسانی که با قیف در بطری مایع ریخته‌اند، میدانند که باید گاه بگاه قیف را کمی بلند کرد، و الا مایع از قیف توی بطری نمیریزد. هوای درون بطری که راه خروج ندارد، با فشار خود مایع را در قیف نگهمیدارد. البته کمی مایع توی بطری میریزد، چونکه هوای داخل بطری تحت فشار مایع

کمی فشرده میشود. اما فشار هوای محصور در بطری که حجم آن کم شده است، برای آنکه با وزن مایع داخل قیف تعادل برقرار کند، کافی است. روشن است که وقتی قیف را بلند میکنیم، راه خروج هوای فشرده شده باز میشود و آنوقت مایع باز هم به بطری میریزد.

به این دلیل بسیار مناسب است قیف‌ها را طوری بسازند که در سطح خارجی قسمت باریک آن چند برجستگی طولی وجود داشته باشد، این برجستگی‌ها مانع میشوند که قیف دهانه بطری را کیپ بگیرد.

یک تن چوب و یک تن آهن

همه این سؤال شوخی‌آمیز را میدانند: یک تن چوب سنگین تر است یا یک تن آهن؟ معمولاً بدون اینکه فکر بکنند، جواب میدهند که یک تن آهن سنگین تر است، و موجب خنده دستجمعی اطرافیان میشوند.

اگر به این آدم‌های شوخ جواب بدهند که یک تن چوب از یک تن آهن سنگین تر است، لابد آنها بلندتر خواهند خندید. ظاهراً این جواب با هیچ منطقی جور نمی‌آید، اما اگر بخواهیم جواب دقیق بدهیم، این حرف درست است!

مطلب در آنستکه قانون ارشمیدس نه فقط در مورد مایعات، بلکه در مورد گازها نیز صدق میکند. وزن هر جسمی در هوا به اندازه وزن هوای هم حجم آن کم میشود.

البته از وزن چوب و آهن نیز در هوا قدری کسته میشود. برای آنکه وزن حقیقی چوب و آهن را بدانیم باید آنچه را که از وزن هر یک کسته شده است، به آن بیافزائیم. بنا بر این، در مثال ما وزن حقیقی چوب مساوی است به یک تن + وزن هوای هم حجم چوب، و وزن حقیقی آهن مساوی است به یک تن + وزن هوای هم حجم آهن.

اما حجم یک تن چوب بمراتب (تقریباً ۱۰ بار) بیشتر از حجم یک تن آهن است. باین دلیل وزن حقیقی یک تن چوب بیشتر از وزن حقیقی یک تن آهن است! برای آنکه جواب دقیقتری داده باشیم، میبایست بگوئیم: وزن حقیقی چوبی که در هوا یک تن وزن دارد، از وزن حقیقی آهنی که در هوا یک تن وزن دارد، بیشتر است.

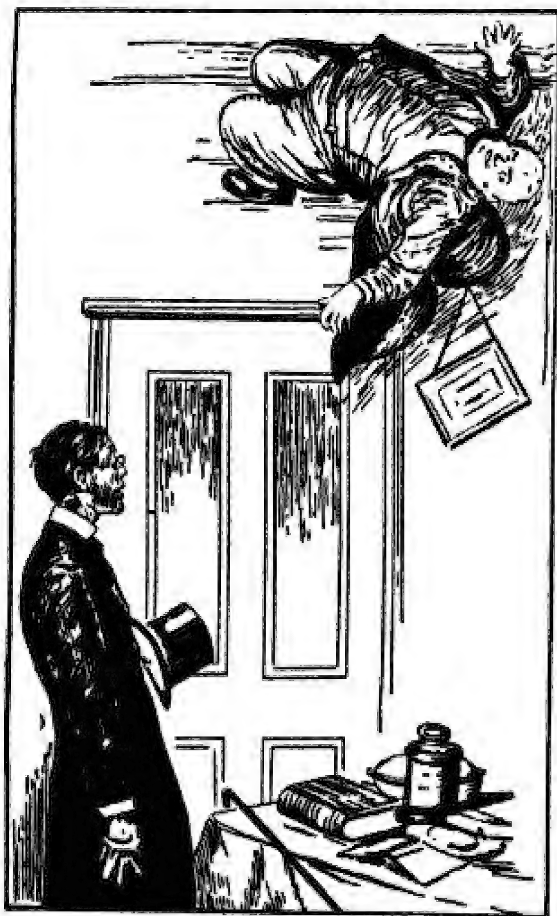
چون حجم یک تن آهن $\frac{1}{8}$ متر مکعب، و حجم یک تن چوب در حدود ۲ متر مکعب است، پس تفاوت وزن هوای هم حجم آنها باید در حدود ۲/۵ کیلوگرم باشد. باین ترتیب یک تن چوب در واقع بهمین اندازه از یک تن آهن سنگین تر است!

آدمی که هیچ وزن ندارد

آرزوی فریبنده‌ای که اغلب اشخاص از کودکی در سر میپرورانند، اینستکه نه فقط مثل پر که*

---

* کلمه روسی пушинка (پوشینکا) به معنای بسیار وسیع یعنی یک دانه از پرز میوه‌ها و گیاهها، پر سبک پرندگان، دانهٔ برف و جزٔ کوچکی از هر چیزی که مدت زیادی در هوا معلق میماند، بکار میرود و معادل دقیق فارسی ندارد. از این کلمه، مانند کلمه «پرکاه» در زبان فارسی، در تشبیه و استعاره برای بیان اجسام بسیار سبک استفاده میکنند (مترجم).



شکل ۷۱ – پایکرافت گفت: — داداش،
من اینجا هستم!

سبک باشند، بلکه از هوا نیز سبکتر باشند*، تا از قیود ملال‌انگیز ثقل آزاد شوند و در آسمان‌ها، بر فراز زمین، به هر جا بخواهند، به پرواز درآیند. اما آنها معمولا یک چیز را فراموش میکنند، و آن اینکه آدم‌ها فقط به این دلیل که از هوا سنگین تر هستند، میتوانند آزادنه روی زمین حرکت کنند. در واقع، بقول توریچلی، «ما در کف اقیانوس هوا زندگی میکنیم»، و اگر به دلیلی ناگهان وزنمان هزار بار کم بشود، یعنی از هوا سبک تر بشویم، آنوقت ناگزیر میبایست به هوا بلند شویم و به

---

* پوشینکا، بر خلاف تصور عده‌ای، نه فقط از هوا سبک تر نیست، بلکه صدها بار از هوا سنگین تر است. علت آنکه مدت زیادی در هوا معلق میماند، اینستکه سطح آن بسیار بزرگ است و مقاوت هوا در برابر حرکت آن نسبت به وزنش خیلی زیاد است.

بالای این اقیانوس هوا برویم. در آنصورت همان چیزی به سر ما می‌آید که به سر گوسار * پوشکین آمده بود: «تمام شیشه را تا ته سر کشیدم و — میخواهی باور کن، میخواهی باور نکن — ناگهان مثل پرکاه به هوا بلند شدم». و اما ما چندین کیلومتر به هوا بلند میشویم تا به جائی برسیم که تکاثف هوای رقیق با تکاثف جسم ما مساوی باشد. آنوقت آرزوی پرواز آزاد بر فراز کوهها و دره‌ها بر باد میرود، زیرا با آزادی از قیود ثقل، اسیر نیروهای دیگر، یعنی جریانات هوا، میشویم.

ولس نویسنده این وضع غیرعادی را بعنوان سوژه برای یکی از داستان‌های علمی و تخیلی خود انتخاب کرد. مردی فوق‌العاده چاق آرزو داشت به هر قیمتی شده از شر چاقی نجات یابد. و گویا حکایت‌کننده درست همان داروی اعجازکننده‌ای را داشته که میتوانست آدم‌های چاق را از شر وزن زیادشان نجات دهد. مرد چاق با خواهش و اصرار نسخه را گرفت و دوا را تهیه کرد و خورد. وقتی حکایت‌کننده به خانه آشنایش رفت و در زد، با حوادث غیر منتظره و حیرت انگیزی رو برو شد:

«مدت زیادی در را باز نکردند. من صدای چرخیدن کلید و پس از آن صدای پایکرافت (پایکرافت نام مرد چاق بود) را شنیدم که گفت:

— بفرمائید!

من دستگیره را چرخاندم و در را باز کردم. طبیعی است که انتظار داشتم پایکرافت را ببینم.

اما میدانید، او نبود! اطاق کارش نامرتب بود: بشقاب‌ها و دوری ها در میان کتاب‌ها و لوازم تحریر پخش و پلا بودند، چند صندلی افتاده بودند، اما از پایکرافت اثری نبود...

ناگهان پایکرافت گفت:

— داداش، من اینجا هستم! در را ببندید. — آنوقت من او را پیدا کردم.

در گوشهٔ بالای در درست پهلوی گیلویه بود چنانکه گوئی کسی اورا به سقف چسبانده است. قیافه‌اش عصبانی و وحشت زده بود.

من گفتم:

— پایکرافت، اگر پیشامدی بکند می‌افتید و گردنتان میشکند.

او گفت:

— اگر چنین پیشامدی میکرد، خیلی خوشحال میشدم.

من گفتم:

— برای آدمی به سن و سال و به وزن شما چنین ورزش هائی... — اما، بر شیطان لعنت، چطور شما آنجا بند شده‌اید؟

و ناگهان دیدم که او به هیچ چیز بند نشده، بلکه مانند بادکنکی که پر از گاز باشد، در آن بالا شناور است.

---

* «گوسار» — سرباز یا افسر سواره نظام سبک در روسیهٔ تزاری و برخی کشورهای دیگر (مترجم).

او کوشید تا از سقف جدا شود و از دیوار به طرف من پائین بخزد. قاب گراور را گرفت، اما قاب تاب نیاورد و او از نو بالا رفت و به سقف خورد. آنوقت من پی بردم که چرا اعضای برجسته و گوشه و کنار بدنش به گچ آلوده شده است. او باز هم با احتیاط زیاد کوشید تا به کمک بخاری پائین بیاید و نفس‌زنان گفت:

— تأثیر این دارو فوق‌العاده زیاد بود. من تقریباً بکلی بی وزن شده‌ام.

آنوقت بود که من همه چیز را فهمیدم و گفتم:

— پایکرافت! آخر شما به معالجه چاقی احتیاج داشتید، اما همیشه این چاقی را وزن مینامیدید... صبر کنید، من کمکتان میکنم، — و دست آن بدبخت بینوا را گرفتم و پائینش کشیدم.

او در اطاق ورجی فروجی میکرد و میکوشید جائی محکم روی پا بایستد. منظره مضحکی بود، درست مثل اینکه من بکوشم در یک روز پر باد بادبان کشتی را نگهدارم!

پایکرافت که از جست و خیز در اطاق بی‌رمق شده بود گفت:

— این میز خیلی محکم و سنگین است. اگر شما بتوانید مرا زیر میز بچپانید...

من این کار را کردم. اما او در زیر میز تحریر هم مثل بادکنکی که بسته باشند، تلو تلو میخورد و نمیتوانست یک دقیقه آرام بگیرد.

من گفتم:

— فقط یک چیز روشن و واضح است و آن اینکه شما چکار نباید بکنید. اگر مثلا به سرتان بزند که از خانه بیرون بروید، آنوقت آنقدر به هوا بلند خواهید شد که حد و اندازه ندارد...

من به او تلقین کردم که باید خودرا با این وضع جدید دمساز کند و گوشزد کردم که برایش مشکل نخواهد بود با دست در سقف اطاق راه برود.

او با لحنی شکایت‌آمیز گفت:

— نمیتوانم بخوابم.

من خاطرنشان ساختم که براحتی میتوان یک دوشک نرم به تور تختخواب نصب کرد و با چند تسمه همه چیزهای لازم را به زیر دوشک بست و پتو و ملافه‌ها را به کنار آن دکمه کرد.

یک نردبان برایش به اطاق آوردند و همه خوراکی ها را روی قفسه کتاب میگذاشتند. یک فکر بکر دیگر هم به مغزمان راه یافت که در نتیجهٔ آن پایکرافت میتوانست هر وقت دلش بخواهد از سقف به کف اطاق بیاید، و آن فکر بکر این بود که «انسیکلوپدی بریتانیا» در طبقهٔ بالائی قفسه کتاب قرار داشت. پایکرافت فوراً دو جلد از آنها را بیرون کشید و در دست گرفت و به کف اطاق پائین آمد.

من دو شبانه روز تمام در خانه او گذراندم. یک متهٔ کوچک و یک چکش برداشتم و آلات و وسائل گوناگون و جالب برایش ساختم، مثلا سیم کشیدم تا بتواند دستش را به زنگ برساند و غیره.

من کنار بخاری نشسته بودم و او در گوشهٔ عزیز خودش پهلوی گیلویه آویزان بود و قالی ترکی را به سقف میکوفت، که ناگهان فکری بنظرم رسید و داد زدم:

— ای، پایکرافت! همه این کارها اصلا زیادی است. به لباستان آستر سربی بدوزید و والسلام، شد تمام!

چیزی نمانده بود که پایکرافت از خوشحالی به گریه بیافتد. من ادامه دادم:

— مقداری سرب ورقه بخرید و زیر لباستان بدوزید. کفش تخت‌سربی بپوشید و یک چمدان سربی یکپارچه به دست بگیرید. آنوقت تمام کارها روبراه میشود و دیگر در اینجا زندانی نخواهید بود. میتوانید به خارجه بروید، میتوانید سفر کنید. هرگز از غرق شدن کشتی نخواهید ترسید، کافی است قسمتی یا همهٔ لباس‌هایتان را بکنید و دور بیاندازید و میتوانید در هوا پرواز کنید».

در نظر اول همه این مطالب با قوانین فیزیک کاملا مطابقت دارد. اما نمیتوان به برخی از جزئیات حکایت اعتراض نکرد. جدی‌ترین اعتراض اینستکه حتی پس از بی وزن شدن بدن مرد چاق، او نمیبایست به هوا بلند شود و به سقف برود!

در واقع، طبق قانون ارشمیدس، پایکرافت فقط در صورتی میبایست به طرف سقف «به پرواز در می‌آمد» که وزن لباس‌ها و تمام محتویات جیب‌هایش از وزن هوای هم‌حجم بدن چاقش کمتر میبود. اگر بخاطر بیاوریم که وزن بدن ما تقریباً مساوی وزن آب هم‌ حجم بدن است، آنوقت به آسانی میتوان حساب کرد که وزن هوای هم‌ حجم بدن آدم چقدر است. وزن آدم در حدود ۶۰ کیلوگرم و وزن آب هم‌حجم بدن آدم نیز در همین حدود است، اما هوای با تکاثف معمولی ۷۷۰ بار از آب سبک‌تر است. یعنی وزن هوای هم‌ حجم بدن ما در حدود ۸۰ گرم است. مستر پایکرافت هر قدر هم که چاق بوده باشد بیش از ۱۰۰ کیلوگرم وزن نداشته است، بنابر این وزن هوای هم حجم بدنش بیش از ۱۳۰ گرم نبوده است. واقعاً مگر وزن کت و شلوار، کفش، کیف پول و سایر خرده ریزهای پایکرافت از ۱۳۰ گرم بیشتر نبوده است؟ البته که بیشتر بوده است. حال که چنین است، پایکرافت چاق میبایست روی کف اطاق بماند، البته به حالت بسیار نااستواری، ولی در هر صورت نمیبایست «مثل بادکنکی که بسته باشند» به طرف سقف پرواز کند. فقط اگر پایکرافت لخت مادرزاد میشد، آنوقت واقعاً میبایست به طرف سقف پرواز کند. اما با لباس میبایست مانند آدمی باشد که به بالون هوائی کوچکی بسته شده است. با یک فشار جزئی به عضلات و یک پرش نرم از زمین بلند میشد و به ارتفاعات زیاد می‌رفت، و در هوای بدون باد از آنجا آرام و یکنواخت به زمین برمیگشت*.

ساعت باکوک «دائمی»

ما در این کتاب چند «محرک دائمی» خیالی را مورد بررسی قرار دادیم و ثابت کردیم که کوشش برای اختراع چنین محرک هائی کاری است بیهوده و عبث. حالا در باره محرک «رایگان» یعنی محرکی که میتواند بدون هیچگونه توجهی از طرف ما مدت بینهایت زیادی کار کند، زیرا انرژی لازم را از منبع پایان‌ناپذیر محیط اطراف خود میگیرد، کمی بحث میکنیم. البته همه هواسنج جیوه‌ای یا فلزی را دیده‌اند. در هواسنج جیوه‌ای سطح ستون جیوه بسته به تغییرات فشار جو، گاه بالا میرود و گاه پائین می‌آید، در هواسنج فلزی، به همان دلیل تغییرات فشار جو، عقربهٔ هواسنج دائماً نوسان میکند. در قرن ۱۸ میلادی یک مخترع از این حرکت هواسنج برای کوک کردن ساعت استفاده

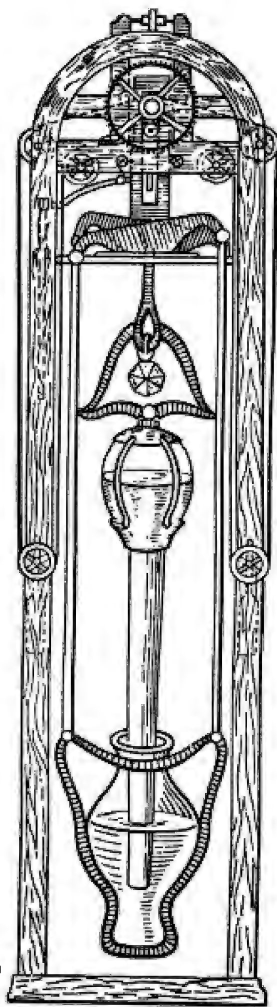
---

* شرح مفصل بالون‌های هوائی را میتوانید در فصل ؛ «مکانیک برای سرگرمی» تألیف این‌جانب مطالعه کنید.

کرد و بدین ترتیب ساعتی اختراع کرد که خود بخود کوک میشد و بدون وقفه کار میکرد و هیچ احتیاجی نبود که آن را کوک کنند. فرگوسون مکانیسین و منجم مشهور انگلیسی که این اختراع جالب توجه را دیده بود، در سال ۱۷۷٤ در باره آن چنین اظهار نظر کرده است:

«من ساعتی را که در بالا توصیف شد، بازدید کردم، این ساعت بوسیله بالا و پائین آمدن جیوه در هواسنجی که به شکل ویژه‌ای ساخته شده است، دائماً کار میکند. هیچ دلیلی وجود ندارد که فکر کنیم این ساعت ممکن است زمانی از کار بیافتد، زیرا نیروی محرکه‌ای که در آن ذخیره میشود کافی است که حتی اگر هواسنج را اصلا برداریم، ساعت یک سال تمام کار کند. باید با صراحت تمام بگویم که بررسی دقیق و همه جانبه ساعت نشان میدهد که این ساعت، هم از لحاظ ایده و هم از لحاظ ساختمان، جالب ترین مکانیسمی است که من در عمر خود دیده‌ام».

متأسفانه این ساعت تا دوران ما باقی نمانده‌است، ساعت را دزدیدند و حالا جای آن معلوم نیست. اما نقشهٔ ساختمان آن که بوسیلهٔ منجم نامبرده کشیده شده، باقی مانده است، بنا بر این امکان دو باره ساختن آن وجود دارد.



شکل ۷۲ — طرح ساختمان محرک رایگان از قرن ۱۸ میلادی.

یکی از اجزاء متشکلهٔ مکانیسم این ساعت هواسنج جیوه‌ای بزرگی میباشد. در یک ظرف شیشه‌ای که در قاب آویزان است، و قرع بزرگی که واژگون شده و دهانهٔ آن توی ظرف قرار دارد، در حدود ۱۵۰ کیلوگرم جیوه ریخته شده است. هر دو ظرف طوری نصب شده‌اند که نسبت به یکدیگر متحرک هستند (شکل ۷۲). چند اهرم که با مهارت تمام ساخته و کار گذاشته شده‌اند، طوری عمل میکنند که وقتی فشار جو زیاد شود قرع پائین می‌آید و ظرف شیشه‌ای بالا میرود، و وقتی فشار جو کم شود، بر عکس. هر دوی این حرکات سبب میشوند که چرخ دندانه‌دار کوچکی همیشه به یک طرف بچرخد. چرخ فقط زمانی حرکت نمیکند که فشار جو کاملا ثابت و بدون تغییر باشد، اما در لحظات بیحرکت بودن چرخ نیز مکانیسم ساعت با نیروی پائین آمدن وزنه‌هائی که قبلا بالا رفته و نیرو در آنها ذخیره شده است، کار میکند. ساختن دستگاه طوری که وزنه‌ها بالا بروند و در عین حال ضمن فرود آمدن مکانیسم ساعت را به حرکت در آورند، کار ساده‌ای نیست. اما ساعت‌سازهای دوران قدیم بحد کافی استعداد و قابلیت اختراع داشتند که از عهده این کار برآیند. حتی معلوم شد که نیروی نوسان فشار جو بیش از حد لازم بوده است، یعنی سرعت بالا رفتن وزنه‌ها بیش از سرعت پائین آمدن آنها بوده است. به این دلیل دستگاهی لازم بوده است که هر وقت وزنه‌ها به بالاترین نقطه میرسیده‌اند، ارتباط آنها را قطع کند.

6*

تفاوت مهم و اصلی این محرک « رایگان » و محرک‌های نظیر آن با محرک‌های « دائمی » کاملا روشن و آشکار است. در محرک‌های رایگان، بر خلاف آنچه مخترعین محرک‌های دائمی آرزو داشتند، انرژی از هیچ بوجود نمی‌آید، بلکه از خارج، در مثال ما از هوای اطراف، گرفته میشود، و در هوای اطراف از پرتو خورشید گرد می‌آید. اگر ساختمان محرک‌های رایگان نسبت به انرژی‌ای که میدهند زیاد گران تمام نمیشد، این محرک‌ها به اندازه محرک‌های « دائمی » با صرفه بودند، اما در اکثر موارد بسیار گران تمام میشود.

ما در صفحات آینده با انواع دیگر محرک‌های رایگان آشنا میشویم و نشان میدهیم که چرا معمولا استفاده صنعتی از اینگونه مکانیسم‌ها ابداً با صرفه نیست.

فصل ششم

پدیده‌های حرارتی

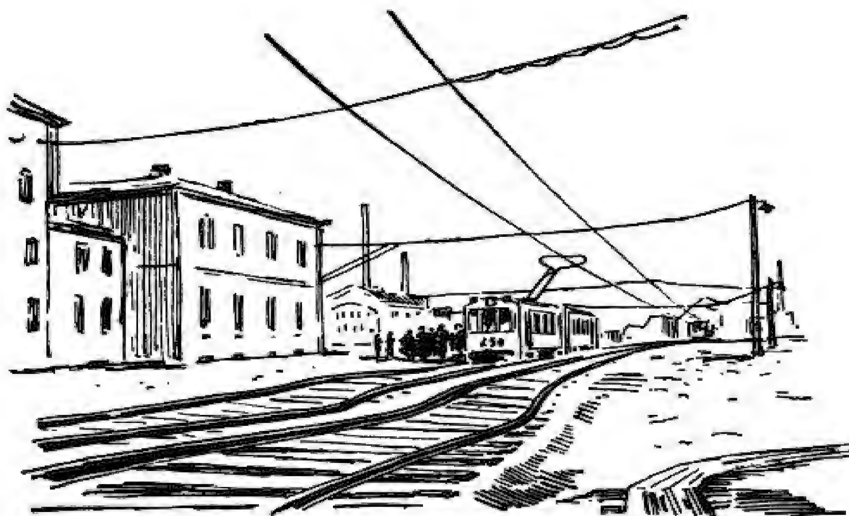
چه وقت راه آهن اکتیابرسکایا * درازتر است، تابستان یا زمستان؟

یک نفر به سؤال: «طول راه آهن اکتیابرسکایا چقدر است؟»، جواب داد:
— بطور متوسط ششصد و چهل کیلومتر، تابستان در حدود سیصد متر درازتر است.
این جواب غیر منتظره آنقدرها هم که ممکن است ظاهراً بنظر بیاید، بیمعنی نیست. اگر ما طول ریل‌های یکپارچه را درازی راه آهن بنامیم، آنوقت واقعاً هم راه آهن تابستان از زمستان درازتر است. نباید فراموش کرد که طول ریل‌ها در نتیجهٔ گرم شدن افزایش می‌یابد. و این افزایش طول در هر درجه سانتیگراد معادل یک صد هزارم طول ریل است. در روزهای گرم تابستان حرارت ریل‌ها ممکن است به ۳۰ — ۴۰ درجه و بیشتر برسد. گاهی ریل‌ها در پرتو خورشید چنان داغ میشوند که دست را میسوزانند. در روزهای سرد زمستان ریل‌ها تا ۲۵ — درجه، و پائین تر، سرد میشوند. اگر فرض کنیم که تفاوت درجه حرارت تابستان و زمستان ۵۵ درجه است و طول کلی راه ۶۴۰ کیلومتر را در ۰/۰۰۰۰۱ و در ۵۵ ضرب کنیم در حدود $\frac{1}{3}$ کیلومتر میشود. معلوم میشود واقعاً هم طول ریل‌های راه آهن بین مسکو و لنینگراد تابستان در حدود یک سوم کیلومتر، یعنی تقریباً ۳۰۰ متر، درازتر از زمستان است.
البته، در اینجا طول راه تغییر نمیکند، بلکه مجموع طول همهٔ ریل‌ها تغییر میکند. و این دو چیز مختلف است، زیرا قطعات ریل‌های راه آهن به یکدیگر نچسبیده‌اند، در محل اتصال قطعات فاصله کوچکی میگذارند تا هنگام گرم شدن ریل‌ها طول آنها بلا مانع زیاد شود. ** از روی حساب ما معلوم

---

* اکتیابرسکایا — نام راه آهن مسکو — لنینگراد است (مترجم).

** این فاصله خالی برای ریل‌های ۸ متری در صفر درجهٔ حرارت باید ۶ میلیمتر باشد. برای اینکه این فاصله خالی کاملا پر شود باید حرارت ریل به ۶۵ درجه بالای صفر برسد. در ریل گذاری راههای تراموای به علل فنی نمیتوان این فاصله خالی را گذاشت. معمولا این امر موجب کج شدن ریل‌ها نمیشود، زیرا بعلت قرار داشتن ریل‌ها در زمین نوسان درجه حرارت آنها چندان زیاد نیست، بعلاوه خود طرز کار گذاشتن و محکم کردن ریل‌ها طوری است که از کج شدن پهلوئی آنها جلوگیری



شکل ۷۳ — کج شدن ریل‌های تراموای در نتیجه گرم شدن زیاد.

میشود که مجموع طول همهٔ ریل ها بحساب مجموع طول این فاصله‌های خالی افزایش می‌یابد. افزایش طول کلی در روزهای گرم تابستان نسبت به طول روزهای سرد زمستان به ۳۰۰ متر میرسد. بدین ترتیب قسمت آهنی راه اکتیابرسکایا واقعاً تابستان ۳۰۰ متر درازتر از زمستان است.

دزدی بدون کیفر

در خط لنینگراد — مسکو هر سال زمستان صدها متر سیم گرانبهای تلفن و تلگراف بکلی نابود میشود و اثری از آن باقی نمیماند، و با اینکه مسئول نابودی سیم‌ها کاملا معلوم است، هیچ کس ناراحت نمیشود. البته شما هم این سارق را میشناسید — این سارق سرما است. آنچه در باره ریل‌ها گفتیم، در مورد سیم‌ها هم کاملا صدق میکند، فقط با این تفاوت که سیم مسی تلفن در نتیجه حرارت ۱/۵ بار بیشتر از فولاد دراز میشود. اما در اینجا دیگر هیچ فاصله خالی وجود ندارد و ما بدون هر گونه قید و شرطی میتوانیم بگوئیم که خط تلفنن لنینگراد — مسکو زمستان در حدود ۵۰۰ متر از تابستان کوتاه تر است. هر سال زمستان سرما در حدود نیم کیلومتر سیم میرباید و هیچ کیفری نمی‌بیند، اما به تلفن و تلگراف هم هیچ خللی نمیرساند و وقتی هوا گرم شد، آنچه را ربوده بود عیناً بر میگرداند.

اما وقتی این انقباض در نتیجه سرما نه برای سیم‌ها، بلکه برای پل‌ها روی میدهد، آنوقت اغلب

میکند. اما با همهٔ اینها، در هوای فوق‌العاده گرم ریل‌های تراموای هم کج میشوند. در شکل ۷۳ که از روی یک عکس چاپ شده است، این کج شدن بخوبی دیده میشود.

گاهی در ریل‌های راه‌آهن نیز چنین پیشامدهائی میکند. زیرا در سرازیری‌ها قسمت‌های متحرک قطار ریل‌ها را (گاهی حتی با تراورس‌ها) به دنبال خود میکشند، در نتیجه در این قسمت‌های راه اغلب فاصله‌های خالی از میان میرود و سر قطعات ریل به هم میچسبند.

عواقب بسیار محسوسی در پی دارد. ببینید روزنامه‌ها در دسامبر سال ۱۹۲۷ در مورد چنین پیشامدی چه اطلاع داده بودند:

«سرمائی که برای فرانسه غیر عادی است و چند روز دوام داشت، به پل روی رودخانه سن در مرکز پاریس آسیب جدی رسانده است. اسکلت آهنی پل در اثر سرما منقبض شد و در نتیجه سنگ‌فرش روی قسمت سواره‌رو پل متورم و سپس خرد شد. عبور و مرور وسائل نقلیه از روی پل موقتاً ممنوع است».

ارتفاع برج ایفل

اگر حالا از شما سؤال کنند ارتفاع برج ایفل چقدر است، لابد قبل از آنکه جواب بدهید: «۳۰۰ متر»، خواهید پرسید:

— در چه هوائی، در هوای سرد یا گرم؟

زیرا ارتفاع چنین ساختمان آهنی عظیمی نمیتواند در هر حرارتی یکسان بماند. میدانیم که میلهٔ آهنی به طول ۳۰۰ متر وقتی یک درجه گرم شود، طولش ۳ میلیمتر افزایش میابد. وقتی حرارت یک درجه بالا برود، ارتفاع برج ایفل هم باید در حدود ۳ میلیمتر افزایش بیابد. مصالح آهنی برج ایفل در روزهای گرم و آفتابی در پاریس ممکن است تا ۴۰+ درجه گرم شود، در صورتیکه در روزهای سرد و بارانی حرارت آن تا ۱۰+ درجه و زمستان تا صفر و حتی ۱۰ — درجه پائین می‌آید (سرمای شدیدتر از این برای پاریس امری است نادر). بطوریکه می‌بینیم نوسان حرارت به ۴۰ درجه و بیش از آن میرسد. پس ارتفاع برج ایفل ممکن است ۱۲۰=۴۰×۳ میلیمتر یعنی ۱۲ سانتیمتر (بیش از طول این سطر) کم و زیاد شود.

اندازه‌گیری‌های مستقیم نشان داده است که برج ایفل در مقابل نوسانات حرارت از هوا هم حساس‌تر است. برج ایفل زودتر گرم و زودتر سرد میشود و وقتی در روزهای ابری ناگهان خورشید از پشت ابر بیرون می‌آید، زودتر عکس‌العمل نشان میدهد. تغییرات ارتفاع برج ایفل را بوسیله سیمی از فولاد نیکل‌دار اندازه گرفتند و معلوم کردند. خاصیت فولاد نیکل دار اینستکه طول آن در نتیجه نوسانات حرارت تقریباً تغییر نمیکند. این همبسته که دارای خواص بسیار خوبی است «invar» نام دارد (از کلمه لاتینی «invariable» یعنی «تغییرناپذیر»).

بدین ترتیب، در روزهای گرم نوک برج ایفل به اندازه طول این سطر بالا میرود، اما این طول از فلزی است که یک دینار هم قیمت ندارد.

از استکان چای تا لولهٔ ترازنما

یک کدبانوی باتجربه قبل از آنکه در استکان‌ها چای بریزد، برای آنکه استکان‌ها نشکنند در آنها قاشق میگذارد، و اگر قاشق نقره باشد چه بهتر. تجربه زندگی راه کاملا صحیحی را نشان داده است. این راه بر چه اساسی متکی است؟

اول توضیح میدهیم که اصولا چرا استکان از آب داغ میترکد.

علت ترکیدن استکان انبساط غیر یکسان شیشه است. آب داغی که در استکان میریزیم، دیواره‌های استکان را یکباره گرم نمیکند. ابتدا قشر درونی دیواره گرم میشود، در صورتیکه قشر خارجی هنوز گرم نشده است. قشر گرم درونی فوراً انبساط می‌یابد، اما قشر خارجی در این لحظه بی‌تغییر مانده است و در نتیجه فشار شدیدی از داخل به آن وارد می‌آید. شیشه شکست برمیدارد و استکان میترکد.

فکر نکنید که اگر استکان‌های کلفت داشته باشید، از اینگونه پیشامدها [illegible] هستید. استکان‌های کلفت از این نقطهٔ نظر کم استحکام‌ترین استکان‌ها هستند و خیلی زودتر از [illegible] نازک میترکند. علت این امر معلوم است: دیواره نازک زودتر گرم میشود و حرارت و انبساط یکسان در همه جای آن زودتر بوجود می‌آید، بر عکس در استکان کلفت قشر ضخیم شیشه بکندی گرم میشود.

در انتخاب ظرف شیشه‌ای نازک یک چیز را نباید از یاد ببرید، آن اینکه باید نه فقط دیواره‌ها، بلکه ته استکان نیز نازک باشد. وقتی آب داغ در استکان میریزید، قبل از همه ته آن داغ میشود. اگر ته استکان کلفت باشد، دیواره‌های آن هر قدر هم نازک باشند، استکان میترکد. استکان‌ها و فنجان‌های چینی که در قسمت پائین آنها برجستگی کلفت حلقه‌مانندی وجود دارد، نیز زود میترکند.

هر چه ظرف شیشه‌ای نازک‌تر باشد بهمان اندازه با اطمینان بیشتر میتوان آن‌را گرم کرد. شیمیست‌ها ظروف شیشه‌ای بسیار نازک بکار میبرند و مستقیماً روی شعله آتش آب جوش می‌آورند و هیچ بیمی ندارند که ممکن است ظرف بترکد.

البته ظرف ایدآل ظرفی است که وقتی گرم میشود اصلا انبساط نیابد. کوارتز (در کوهی) فوق‌العاده کم — ۱۵ — ۲۰ بار کمتر از شیشه — انبساط می‌یابد. ظرف کلفت از کوارتز شفاف را میتوان همه جور گرم کرد و ظرف نمیترکد. میتوان ظرف کوارتزی را که از شدت حرارت سرخ شده است، با جرئت در آب یخ انداخت و یقین داشت که نخواهد ترکید.* یکی از علل این امر اینستکه قابلیت هدایت حرارت کوارتز بمراتب بیش از شیشه است.

استکان نه فقط وقتی که بسرعت گرم، بلکه وقتی هم که بسرعت سرد بشود، میشکند. علت این امر انقباض غیر یکسان است، قشر خارجی که سرد شده است منقبض میشود و بر قشر داخلی که هنوز سرد و منقبض نشده است، بشدت فشار می‌آورد. به این دلیل نباید مثلا شیشه پر از مربای داغ را در هوای بسیار سرد گذاشت، یا در آب سرد فرو کرد و غیره.

حالا به مسألهٔ قاشق چایخوری در استکان برمیگردیم. چه عاملی سبب میشود که قاشق از ترکیدن استکان جلوگیری میکند؟

فقط وقتی که در استکان یکباره آب خیلی داغ میریزند، اختلاف گرم شدن داخلی و خارجی دیواره استکان شدید است. آب گرم سبب اختلاف شدید گرم شدن و در نتیجه سبب اختلاف شدید در انبساط قسمت‌های مختلف شیشه نمیشود. ظرف از آب گرم نمیترکد. حالا وقتی قاشق توی استکان است چه عملی روی میدهد؟ مایع داغ وقتی به ته استکان ریخت، قبل از آنکه شیشه را (که قابلیت هدایت حرارتش کم است) گرم کند، مقداری از حرارت خود را به فلز (که قابلیت هدایت حرارتش

---

*ظرف کوارتز برای کارهای آزمایشگاهی به این دلیل نیز مناسب است که فوق‌العاده دیرگداز میباشد. کوارتز فقط در ۱۷۰۰ درجه نرم میشود.

زیاد است) میدهد. حرارت مایع پائین می‌آید و از مایع داغ به مایع گرم تبدیل میشود و در نتیجه تقریباً هیچ صدمه‌ای نمیرساند. آب داغی که بعداً در استکان میریزیم، دیگر خطر چندانی ندارد، زیرا استکان در این مدت کمی گرم شده است.

خلاصه، قاشق فلزی در استکان (بخصوص اگر قاشق سنگین باشد) از گرم شدن غیریکسان، و در نتیجه از ترکیدن آن جلوگیری میکند.

اما چرا اگر قاشق نقره باشد بهتر است؟ زیرا قابلیت هدایت حرارت نقره زیاد است، قاشق نقره زودتر از قاشق مسی حرارت آب را جذب میکند. بیاد بیاورید که قاشق نقره در استکان چای داغ چطور دست را میسوزاند. از روی این علامت حتی میتوانید بدون اشتباه جنس قاشق‌را تعیین کنید، قاشق مسی دست را نمیسوزاند.

انبساط غیریکسان دیواره‌های شیشه‌ای نه فقط استکان‌های چایخوری، بلکه قسمت های مهم دیگ بخار، یعنی لوله‌های ترازنما را که سطح آب را در دیگ نشان میدهند، به خطر ترکیدن تهدید میکند. قشرهای داخلی این لوله‌ها از بخار و آب داغ گرم میشوند در نتیجه بیش از قشرهای خارجی انبساط می‌یابند. فشار شدید بخار و آب در لوله بر این قوه انبساط افزوده میشود و در نتیجه ممکن است لوله به آسانی بترکد. برای جلوگیری از ترکش لوله، گاهی لوله‌های ترازانما را از دو قشر شیشه نوع مختلف میسازند: قابلیت انبساط قشر داخلی از قابلیت انبساط قشر خارجی کمتر است.

افسانهٔ چکمه در حمام

«چرا زمستان روز کوتاه است و شب بلند، و تابستان برعکس؟ برای اینکه زمستان روز مانند همه چیزهای دیگر، چه مرئی و چه نامرئی، از سرما منقبض میشود و شب از سوختن شمع‌ها و چراغ‌ها گرم و در نتیجه منبسط میشود».

ما به استدلال و قضاوت عجیب و خلاف منطق «استوار باز نشسته قشون دن» از حکایت چخوف بی‌اختیار لبخند میزنیم. اما کسانی که به اینگونه استدلالات و قضاوت‌های «علمی» میخندند، اغلب خودشان تئوری‌هائی میبافند که بهمین اندازه عجیب و غیر منطقی است. کیست که افسانهٔ چکمه در حمام را نشنیده و حتی نخوانده باشد؟ در این افسانه چکمه به پای گرم نمیرود، گویا به این دلیل که «حجم پا در اثر گرم شدن زیاد شده است.» این مثال مشهور چیزی نمانده بود که به یک مثال کلاسیک تبدیل شود، در صورتیکه توضیح مطلب بکلی نادرست است.

قبل از همه حرارت بدن آدم در حمام تقریباً زیاد نمیشود، افزایش حرارت بدن در حمام به بیش از یک و حد اکثر دو درجه نمیرسد. ارگانیسم آدم با تأثیرات حرارتی محیط اطراف با موفقیت مبارزه میکند و حرارت خود را در نقطه معینی نگهمیدارد.

اما وقتی بدن ما یکی دو درجه گرم بشود، افزایش حجم بدن بقدری ناچیز است که نمیتوان آن را در پوشیدن چکمه احساس کرد. ضریب انبساط قسمت‌های سفت و نرم بدن آدم بیش از چند ده هزارم نیست. بنا بر این پهنای پاشنه و کلفتی ساق پا ممکن بود فقط در حدود یک صدم سانتیمتر افزایش بیابد. آیا واقعاً چکمه ها را با دقت تا ۰/۰۱ سانتیمتر — کلفتی مو — میدوزند؟

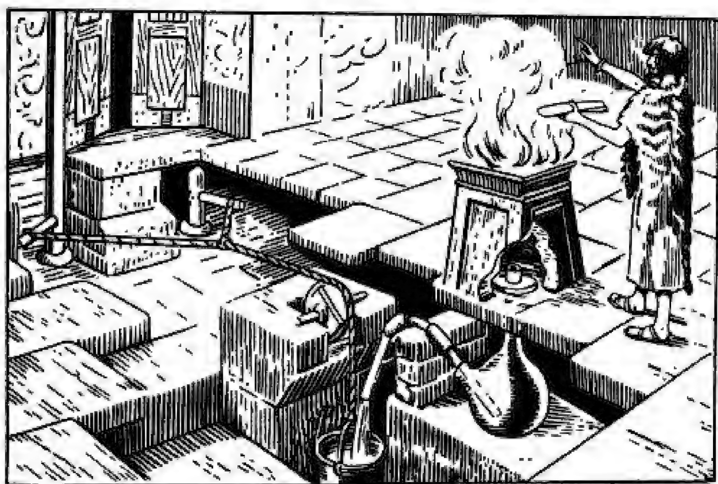
اما در این واقعیت شکی نیست که پس از حمام پوشیدن چکمه مشکل است. ولی علت این امر نه انبساط در نتیجه حرارت، بلکه جریان خون به پا و تورم پوست و تر بودن آن و پدیده‌های دیگری از اینقبیل است که با انبساط در نتیجه حرارت هیچ وجه مشترکی ندارند.

چگونه معجزه‌ها صورت میگرفتند

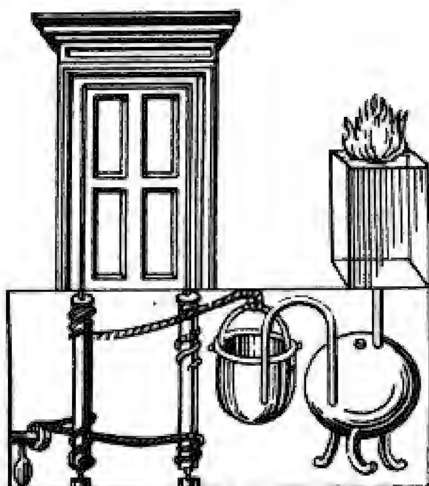
هرون اسکندرونی از علمای مکانیک یونان باستان و مخترع فواره‌ای که بنام اوست، شرح دو طریق زیرکانه را که کاهنان مصر بوسیله آن مردم را فریب میداده و اعتقاد به معجزه را در آنها تلقین میکرده‌اند، برای ما باقی گذاشته است.

در شکل ۷۴ یک مذبح فلزی توخالی و زیر آن دستگاهی که در زیرزمین پنهان بوده و درهای دیر را به حرکت در می‌آورده است، می‌بینید. مذبح در خارج دیر ساخته شده بود. وقتی آتش روشن میکردند هوای داخل مذبح در نتیجه حرارت منبسط میشد و به آب ظرفی که زیر مذبح پنهان بود، بیشتر فشار می‌آورد. آب از ظرف به لوله‌ای میرفت و از لوله به سطلی میریخت. سطل پائین می‌آمد و دستگاهی را که در را میچرخاند، به حرکت در می‌آورد (شکل ۷۵). بینندگان که حتی تصور نمیکردند در زیرزمین دستگاهی پنهان باشد، در برابر خود «معجزه» میدیدند و انگشت بدهان حیران میماندند. همینکه آتش در مذبح شعله‌ور میشد درهای دیر «ببرکت دعای کاهن» خود بخود باز میشدند...

معجزه واهی دیگری که کاهنان میکردند، در شکل ۷۶ نشان داده شده است. وقتی آتش در مذبح شعله‌ور میشد، هوای درون مذبح در نتیجه انبساط به روغن مخزن پائینی فشار می‌آورد،



شکل ۷۴ — افشای «معجزه» کاهنان مصری: درهای دیر در نتیجه عمل آتش مذبح **باز** میشدند.



شکل ۷۵ — شمای ساختمان درهای دیر که وقتی آتش در مذبح شعله‌ور میشد خود بخود باز میشدند (با شکل ۷۴ مقایسه کنید).



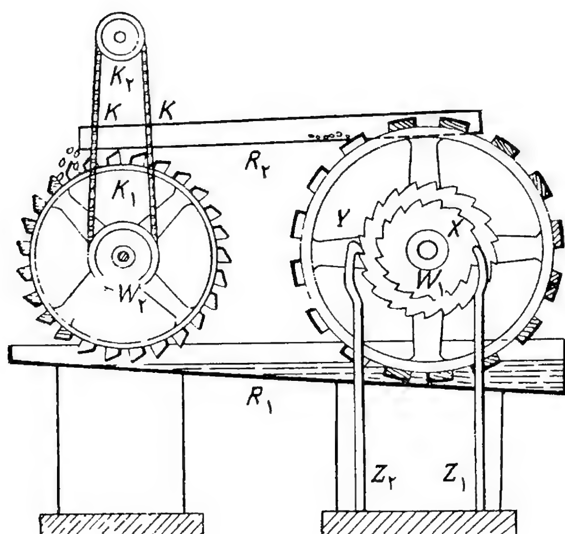
شکل ۷۶ — یک معجزه واهی دیگر دوران باستان: روغن خود بخود در آتش مذبح میریخت.

روغن از مخزن به لوله‌هائی که در مجسمه کاهنان پنهان بود میرفت و روغن به وضع معجزه‌آسائی خود بخود در آتش میریخت... اما همینکه کاهن مأمور مذبح، طوری که کسی نمیدید، درپوش سر مخزن را برمیداشت، ریزش روغن قطع میشد (زیرا هوای اضافی به آزادی از سوراخ بیرون میرفت). کاهنان زمانی به این حیله دست میزدند که پیشکش‌های عبادت کنندگان بیش از حد ناچیز بود.

ساعت بی‌کوک

ما قبلا (در صفحه ۹۴) شرح یک ساعت بی‌کوک (یا صحیح‌تر ساعتی که به کوک کردن احتیاج ندارد) را بیان کردیم. اساس ساختمان آن ساعت بر تغییرات فشار جو گذارده شده است. حالا شرح یک ساعت خودکوک دیگری‌را بیان میکنیم که بر اساس انبساط در نتیجه حرارت ساخته شده است.

مکانیسم این ساعت در شکل ۷۷ نشان داده شده است. مهمترین قسمت این ساعت دو میله Z_1 و Z_2 میباشد که از همبسته فلزی مخصوصی با ضریب انبساط زیاد ساخته شده است. میله Z_1 طوری به دندانه‌های چرخ X اتکا دارد که وقتی میله در نتیجهٔ حرارت بلند بشود، چرخ کمی میچرخد. میله Z_2 طوری به دندانه‌های چرخ Y بند شده است که وقتی میله در نتیجه برودت کوتاه شود، چرخ را در همان جهت میچرخاند. هر دو چرخ روی محور W_1 نصب شده اند و وقتی محور میچرخد چرخ بزرگ را که به دور آن چندین ملاقه نصب شده است، میچرخاند. ملاقه‌ها از جیوه‌ای که در ناو پائین است پر میشوند و جیوه را به ناو بالائی میبرند، جیوه از آنجا به طرف چرخ سمت چپ



شکل ۷۷ — ساعتی که خود بخود کوک میشود.

جاری میشود. این چرخ نیز دارای چندین ملاقه است که وقتی از جیوه پر شدند چرخ را میچرخانند. این چرخ با چرخ K_1 روی یک محور W_2 نصب شده است و وقتی چرخ K_1 میچرخد زنجیر KK و بوسیله زنجیر چرخ K_2 را به حرکت در می‌آورد. چرخ K_2 فنر ساعت را می‌پیچاند و ساعت را کوک میکند.

جیوه‌ای که از ملاقه‌های چرخ سمت چپ میریزد، در ناو مورب R_1 جاری میشود و به زیر چرخ سمت راست میرود تا از نو همان راه سابق را بپیماید.

بطوریکه مشاهده میشود، دستگاه باید حرکت کند و تا زمانیکه میله‌های Z_1 و Z_2 بلند و کوتاه میشوند، از حرکت باز نایستد. بنا بر این برای کوک کردن ساعت لازم است که حرارت هوا گاه بالا برود و گاه پائین بیاید. اما این عمل بدون دخالت ما خود بخود صورت میگیرد. هر گونه تغییری در حرارت هوای اطراف موجب بلند شدن و کوتاه شدن میله‌ها میشود، و در نتیجه ساعت آهسته، اما مدام کوک میشود.

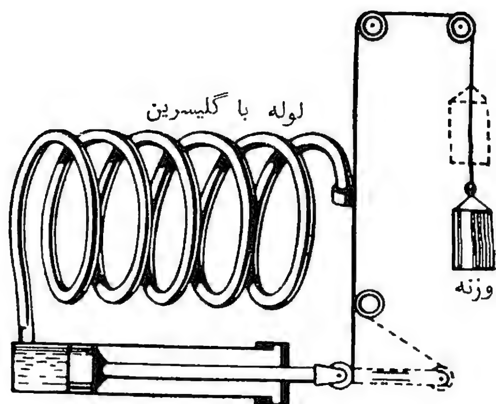
آیا میشود این ساعت را محرک «دائمی» نامید؟ البته که نمیشود. ساعت تا زمانی که مکانیسم آن فرسوده نشده است کار خواهد کرد، اما منبع انرژی آن حرارت هوای اطراف است. این ساعت کار انبساط در نتیجه حرارت را ذره ذره جمع میکند تا آن را بطور مداوم برای حرکت عقربه‌های ساعت مصرف کند. این یک محرک «رایگان» است، زیرا برای آنکه کار کند احتیاجی به مواظبت و مخارج ندارد. اما از هیچ انرژی بوجود نمی‌آورد: منبع **اولیهٔ** انرژی آن حرارت خورشید است که زمین را گرم میکند.

نمونهٔ دیگر ساعت خودکوکی که ساختمان آن شبیه ساعت فوق‌الذکر است، در شکل ۷۸ و ۷۹ نشان داده شده است. مهمترین قسمت این ساعت گلیسرین است که با ازدیاد حرارت هوا منبسط میشود و ضمن انبساط وزنه‌ای را بالا میبرد. در نتیجه پائین آمدن این وزنه مکانیسم ساعت کار میکند. از آنجا که گلیسرین فقط در ۳۰ − درجه سانتیگراد منجمد میشود و در ۲۹۰+ درجه سانتیگراد میجوشد، این مکانیسم برای ساعت‌های میدان‌ها و سایر جاهای روباز مناسب است. ۲ درجه نوسان حرارت برای کار مداوم این ساعت کافی است. یک نمونه از این نوع ساعت مدت یک سال مورد آزمایش قرار گرفت و با اینکه رد تمام سال هیچکس به آن دست نزد، کاملا خوب کار کرد.

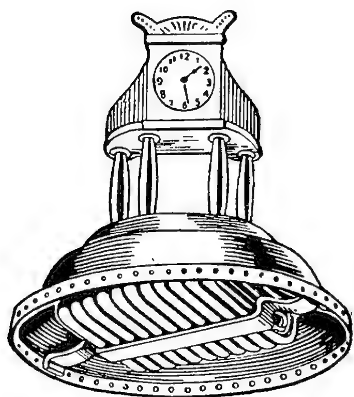
آیا ساختن محرک‌های بزرگتر بر اساس این اصل با صرفه است؟ در نظر اول تصور میرود که اینگونه محرک‌های رایگان باید خیلی باصرفه باشند. اما محاسبه ما را به نتیجهٔ دیگری میرساند. برای کوک کردن یک ساعت معمولی در یک شبانه‌روز تمام فقط در حدود $\frac{۱}{۷}$ کیلوگرم متر انرژی لازم است و این میشود در حدود $\frac{۱}{۶۰۰۰۰۰}$ کیلوگرم متر در ثانیه. چون یک نیروی اسب مساوی ۷۵ کیلوگرم متر در ثانیه است، پس نیروی مکانیسم ساعت فقط $\frac{۱}{۴۵۰۰۰۰۰۰}$ نیروی اسب است. بنا بر این اگر ارزش سپله‌های منبسط شوندهٔ ساعت اول یا آلت ساعت دوم را حتی یک کپک فرض کنیم، مخارج کلی برای یک نیروی اسب این نوع محرک‌ها میشود:

$$\text{کپک } ۱ \times ۴۵ \ ۰۰۰ \ ۰۰۰ = ۴۵۰ \ ۰۰۰ \text{ روبل}$$

تقریباً نیم ملیون روبل برای یک نیروی اسب! مثل اینکه این محرک «رایگان» یک خرده گران است...



شکل ۷۸ ــ طرح ساختمان یک ساعت خود کوک نوع دیگر.



شکل ۷۹ ــ ساعت خودکوک. در پایه ساعت یک لوله پر از گلیسرین کار گذاشته شده است.

سیگار آموزنده

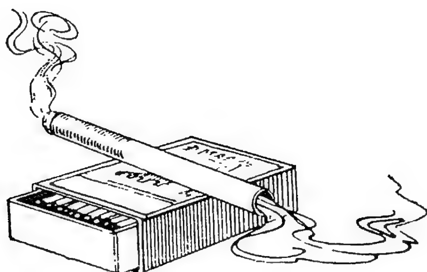
یک سیگار مشتوک دار روی قوطی کبریت است (شکل ۸۰) و از هر دو طرف دود میکند. اما دودی که از مشتوک خارج میشود، پائین می‌آید و دود طرف دیگر بالا میرود. چرا؟ ظاهراً دودی که از هر دو طرف خارج میشود، یک دود است.

بله، دود یک دود است، اما روی آن سر سیگار که میسوزد، جریان بالارونده هوای داغ هست که ذرات دود را با خود بالا میبرد. ولی هوائی که با دود از مشتوک میگذرد، سرد میشود و دیگر بالا نمیرود. و از آنجا که ذرات دود از هوا سنگین‌تر هستند، پائین می‌آیند.

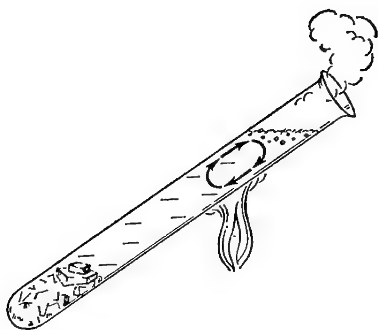
یخی که در آب جوش آب نمیشود

یک لولهٔ آزمایشی بردارید و پر آب کنید، یک تکه یخ توی آب بیاندازید و برای آنکه یخ زیر آب بماند (یخ از آب سبک‌تر است) یک وزنه سربی یا مسی یا از جسم سنگین دیگری روی یخ بگذارید، اما طوری که آب با یخ تماس آزاد داشته باشد. حالا لولهٔ آزمایشی را روی چراغ الکل بگیرید، بطوریکه شعله قسمت بالائی لوله را گرم کند (شکل ۸۱). بزودی آب جوش می‌آید و بخار از آن بلند میشود. اما، چیز عجیبی است، یخ ته لوله آب نمیشود! گوئی معجزهٔ کوچکی در برابر دیدگان ما صورت میگیرد: یخی می‌بینیم که در آب جوش آب نمیشود...

کلید حل این معما در آنستکه آب ته لوله بهیچوجه نمیجوشد، بلکه سرد میماند. فقط آبی که در بالا است میجوشد. یخی که ما می‌بینیم، «یخ در آب جوش» نیست، بلکه «یخ زیر آب جوش» است. آبی که در نتیجه حرارت انبساط می‌یابد، سبک‌تر میشود و به ته لوله نمیرود، بلکه در همان بالا میماند. جریان آب گرم و تغییر مکان قشرهای آب فقط در قسمت بالائی لوله صورت میگیرد و به قشرهای پائینی آب که سنگین‌تر است، سرایت نمیکند. قشرهای پائینی آب فقط از طریق هدایت حرارت ممکن است گرم بشود، اما قابلیت هدایت حرارت آب فوق‌العاده کم است.



شکل ۸۰ — چرا دود سیگار مشتوک دار در یک طرف بالا می‌رود و در طرف دیگر پائین می‌آید؟



شکل ۸۱ — آب در قسمت بالائی لوله میجوشد، اما با وجود این یخ در پائین لوله آب نمیشود.

روی یخ یا زیر یخ؟

وقتی میخواهیم آب گرم کنیم، ظرف آب را روی آتش میگذاریم، نه کنار آتش. و کاملا کار صحیحی میکنیم، زیرا هوائی که در اثر شعله گرم شده است سبک تر میشود و از همه طرف بالا میرود و ظرف را احاطه میکند.

بنا بر این وقتی جسمی را که میخواهیم گرم کنیم روی آتش میگذاریم، از منبع حرارت حد اکثر استفاده را میکنیم.

اما اگر بخواهیم جسمی را بوسیله یخ سرد کنیم، چکار باید بکنیم؟ بسیاری از اشخاص از روی عادت، جسم‌را روی یخ میگذارند، مثلا ظرف شیررا روی یخ میگذارند. این کار درست نیست، زیرا وقتی هوای روی یخ سرد شد، پائین می‌آید و هوای گرم اطراف جای آن را میگیرد. از اینجا میتوان یک نتیجهٔ عملی گرفت: اگر میخواهید خوراکی یا آشامیدنی را سرد کنید، آن را زیر یخ بگذارید، نه روی یخ.

کمی بیشتر توضیح میدهیم. اگر ظرف آبی را روی یخ بگذاریم، فقط پائین‌ترین قشر آب سرد میشود، بقیه آب در احاطهٔ هوای گرم میماند. برعکس، اگر روی در ظرف یک تکه یخ بگذاریم، محتوی ظرف زودتر سرد میشود. قشرهای بالائی مایع که سرد شده است پائین میرود و قشرهای گرم پائینی بالا می‌آید و جای آن را میگیرد و این عمل تا وقتی تمام مایع سرد شود، ادامه مییابد*. از طرف دیگر هوای سرد اطراف یخ هم پائین می‌آید و ظرف را احاطه میکند.

چرا از پنجره بسته باد میوزد؟

اغلب از پنجره‌ای که کاملا کیپ بسته است و کوچکترین درزی ندارد، باد میوزد. این عجیب بنظر می‌آید. اما در اینجا هیچ چیز عجیبی وجود ندارد.

هوای اطاق تقریباً هیچوقت‌در حال آرامش نیست. در اطاق جریان‌هائی هست که با چشم دیده نمیشود. این جریان‌ها در نتیجه گرم شدن و سرد شدن هوا بوجود می‌آیند. هوا از حرارت منبسط و در نتیجه سبک میشود و از برودت منقبض و در نتیجه سنگین میشود. هوای گرم و سبک از رادیاتور شوفاژ سانترال یا از بخاری گرم بوسیله هوای سرد به بالا، به طرف سقف رانده میشود و هوای سرد و سنگین نزدیک پنجره یا دیوارهای سرد به پائین، به طرف کف اطاق جریان پیدا میکند.

این جریان‌هائی‌را که در اطاق وجود دارد، به وسیله یک بادکنک بآسانی میتوان آشکار ساخت. باید یک وزنه کوچک به نخ بادکنک بست تا بادکنک به سقف نچسبد و به آزادی در اطاق به پرواز در آید. حالا اگر این بادکنک را در پهلوی بخاری گرم رها کنید، با جریانات نامرئی هوا در اطاق حرکت میکند: از پهلوی بخاری به طرف سقف بالا میرود و در زیر سقف به طرف پنجره

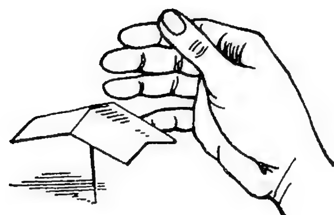
---

* در اینصورت آب پاک تا صفر درجه سرد نمیشود، بلکه فقط تا چهار درجه سرد میشود، زیرا آب ٤ درجه حد اکثر تکاثف را دارد. اما در عمل احتیاج پیدا نمیکنیم که آشامیدنی‌ها را تا صفر درجه سرد کنیم.

حرکت میکند، در نزدیک پنجره به طرف کف اطاق پائین می‌آید و بجای اولیه برمیگردد و از نو همین راه را در اطاق می‌پیماید.
به این دلیل است که زمستان، با اینکه پنجره کاملا کیپ بسته شده و درزی نیست که هوای خارج به اطاق نفوذ کند، ما حس میکنیم که باد میوزد، بخصوص به طرف پا.

فرفره اسرارآمیز

از کاغذ سیگار نازک یک مربع مستطیل درست کنید. کاغذ را در طول و عرض از وسط تا کنید و از نو باز کنید. حالا میدانید مرکز ثقل مربع مستطیل کجا است. کاغذ را روی سوزنی که بطور قائم نصب شده و نوک تیز آن بطرف بالا است بگذارید، بطوریکه مرکز کاغذ روی نوک تیز سوزن قرار بگیرد.
کاغذ بحال تعادل خواهد ماند، زیرا روی مرکز ثقل قرار دارد. اما در اثر کوچکترین وزش هوا، روی نوک تیز سوزن به چرخش در می‌آید.
فعلا در این فرفره هیچ چیز اسرارآمیزی وجود ندارد. اما دستتان را بطوریکه در شکل ۸۲ نشان داده شده است، به کاغذ نزدیک کنید، البته خیلی آهسته که جریان هوا کاغذ را نبرد. پدیده عجیبی خواهید دید: کاغذ به چرخش در می‌آید، ابتدا آهسته و سپس دسبدم سریعتر میچرخد. دستتان را کنار ببرید، کاغذ از چرخش باز می‌ایستد. نزدیک کنید، از نو به چرخش در می‌آید.
زمانی، در سال‌های هفتاد قرن ۱۹ میلادی، این چرخش اسرارآمیز برای بسیاری از اشخاص دستاویزی شده بود که فکر کنند بدن ما دارای خصوصیات مافوق طبیعی است. عالم‌نمایانی که خودرا طرفدار عرفان مینامیدند، در این آزمایش تأیید تعالیم مبهم خویش را می‌یافتند، که گویا از بدن انسان نیروی اسرارآمیزی تراوش میکند. اما دلیل چرخیدن کاغذ کاملا طبیعی و خیلی ساده است. هوائی که‌از پائین بوسیله دست ما گرم شده است، بالا میرود، به زیر کاغذ میخورد و آن را به چرخش در می‌آورد، زیرا وقتی ما کاغذ را تا کردیم، قسمت‌های کاغذ کمی مایل شده بودند، و این مانند فرفرهٔ حلزونی است که روی‌لولهٔ چراغ میچرخد.



شکل ۸۲ — چرا کاغذ میچرخد؟

کسی که به چرخش این فرفره دقت کند، متوجه میشود که فرفره همیشه به یک طرف میچرخد — از مچ دست در طول کف دست به طرف انگشت‌ها. علت این امر تفاوت حرارت قسمت‌های نامبرده دست است. انگشت‌ها همیشه از کف دست سردترند، به این دلیل در نزدیک کف دست، نسبت به نزدیک انگشت‌ها، جریان هوای بالاروندهٔ شدیدتری بوجود می آید و با شدت بیشتری به کاغذ میخورد.*

*وقتی آدم تب داشته باشد، و بطور کلی وقتی درجه حرارت بدن بالا باشد، فرفره بمراتب تندتر میچرخد. در بارهٔ این فرفرهٔ آموزنده که زمانی عدهٔ زیادی را به حیرت انداخته بود، در همان سال‌ها برخی تحقیقات فیزیکی و فیزیولوژیک نیز صورت گرفت و در سال ۱۸۷۶ در انجمن پزشکی مسکو مطرح شد (نچایف، چرخش اجسام سبک تحت تأثیر حرارت دست).

آیا پوستین گرم میکند؟

اگر بکوشند شمارا معتقد کنند که پوستین اصلا گرم نمیکند، چه خواهید گفت؟ البته گمان خواهید کرد که با شما شوخی میکنند. حالا، اگر با چند آزمایش این ادعا را برای شما ثابت کنند، آنوقت چه؟ مثلا چنین آزمایشی بکنید.
ببینید گرماسنج چند درجه نشان میدهد و آن‌را توی پوستین بپیچید و بعد از چند ساعت بیرون بیاورید. خواهید دید که حتی یک چهارم درجه هم گرم نشده است و همان درجهٔ حرارتی را نشان میدهد که قبلا نشان داده بود. بفرمائید، این دلیل برای آنکه پوستین گرم نمیکند. حتی ممکن است گمان ببرید که پوستین سرد میکند. دو کیسه یخ بردارید، یکی را توی پوستین بپیچید و دیگری را در اطاق بگذارید. وقتی یخ کیسهٔ توی اطاق آب شد، پوستین را باز کنید، خواهید دید که یخ کیسهٔ توی پوستین حتی شروع به آب شدن هم نکرده است. بنا بر این، پوستین نه فقط یخ‌را گرم نکرده است، بلکه گوئی حتی سرد هم کرده و آب شدن آن را به تأخیر انداخته است!

در اینجا چه اعتراضی میتوان کرد؟ چطور این دلائل را میتوان رد کرد؟
بهیچوجه. اگر ما «گرم کردن» را به مفهوم حرارت دادن بفهمیم، پوستین واقعاً گرم نمیکند. چراغ گرم میکند، بخاری گرم میکند، بدن آدم گرم میکند، زیرا همهٔ این چیزها منبع گرما هستند. اما پوستین، به این مفهوم کلمه، هیچ گرم نمیکند. پوستین خودش حرارت نمیدهد، بلکه فقط مانع آن میشود که حرارت بدن ما از بدن دور شود. به این دلیل استکه حیوانات خون گرم که بدنشان منبع گرما است، با پوستین بیشتر خودرا گرم حس میکنند تا بدون پوستین. اما گرماسنج حرارت تولید نمیکند و وقتی آن را توی پوستین بپیچید حرارتش افزایش نمی‌یابد. یخی که در پوستین پیچیده‌ایم، برودت خودرا مدت بیشتری حفظ میکند، زیرا قابلیت هدایت حرارت پوستین فوق‌العاده کم است و سبب میشود که حرارت خارج، یعنی حرارت هوای اطاق آهسته‌تر به یخ برسد.
برف هم، به این مفهوم کلمه، مانند پوستین زمین را گرم میکند. قابلیت هدایت حرارت برف مثل همه اجسام گردمانند، فوق‌العاده کم است، به این دلیل مانع میشود که حرارت زمینی که زیر آن است، برود. در زمینی که قشری از برف آن‌را پوشانده است، گرماسنج در اکثر موارد در حدود ده درجه بیشتر نشان میدهد، تا در زمینی که از برف پوشیده نشده است. بدین ترتیب، به سوءال: «آیا پوستین گرم میکند؟»، باید جواب داد: «پوستین فقط به ما کمک میکند که خودمان، خودمان را گرم کنیم» اگر بگوئیم: ما پوستین را گرم میکنیم، نه پوستین مارا، صحیح‌تر است.

چه فصلی از سال زیر پای ماست؟

وقتی روی زمین تابستان است، در عمق مثلا سه متر زیر زمین چه فصلی از سال است؟
گمان میکنید که آنجا هم تابستان است؟ اشتباه میکنید. بر خلاف آنچه ممکن است، بعضی فکر کنند، فصول سال در روی زمین و زیر زمین یکی نیستند. قابلیت هدایت حرارت زمین فوق‌العاده کم است. در لنینگراد لوله‌های آبی که در عمق دو متر هستند، در شدیدترین سرماها یخ نمی‌بندند.

تغییرات حرارت که در روی زمین رخ میدهد، بسیار کند به زیر زمین سرایت میکند و پس از مدت بسیار زیادی به اعماق مختلف زمین میرسد. اندازه‌گیری‌های مستقیم (مثلا در اسلوتسک، استان لنینگراد) نشان داده است که در عمق سه متر زیر زمین گرمترین لحظه سال ۷۶ روز و سردترین لحظه ۱۰۸ روز دیرتر از روی زمین فرا میرسد. یعنی اگر فرض کنیم که گرمترین روز در روی زمین ۲۵ ژوئیه بوده است، در عمق سه متر زیر زمین گرمترین روز فقط ۹ اکتبر خواهد بود! اگر سردترین روز ۱۵ ژانویه بوده است، در عمق سه متر سردترین روز در ماه مه خواهد بود. در اعماق بیشتر، این تأخیر باز هم بیشتر است.

تغییرات حرارت روی زمین نه فقط کند به زیر زمین سرایت میکند، بلکه هر قدر پائینتر برویم این تغییرات ضعیف تر هم میشود و در عمق معینی بکلی از میان میرود و در تمام سال طی قرن‌های متمادی درجهٔ حرارت در آنجا ثابت و بدون تغییر میماند و مساوی درجهٔ حرارت متوسط آن محل است.

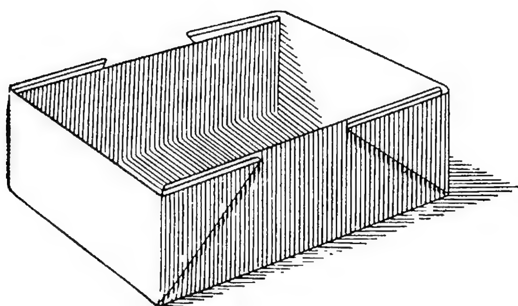
گرماسنجی که صدو پنجاه سال است در زیرزمین‌های رصدخانه پاریس در عمق ۲۸ متر قرار دارد و لوازیه آن را گذاشته بود، در طی این صد و پنجاه سال کوچکترین تغییری نکرده و همیشه همان درجهٔ حرارت (۱۱/۷+ درجه سانتیگراد) را نشان میدهد.

بدین ترتیب در زیر زمینی که روی آن گام برمیداریم، هرگز آن فصلی از سال نیست که روی زمین میباشد. وقتی روی زمین زمستان است، در عمق ۳ متر زیر زمین پائیز است، البته نه آن پائیزی که قبلا روی زمین بوده است، بلکه پائیزی با تقلیل حرارت کمتر، و وقتی در روی زمین تابستان است، آثار ضعیف سرماهای زمستان، تازه به اعماق زمین میرسد.

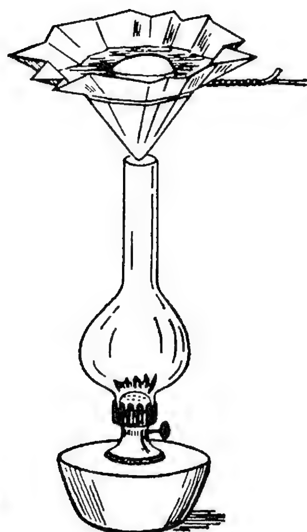
هر وقت از شرایط زندگی موجودات جاندار زیرزمینی (مثلا کرمینه‌های سوسک طلائی) یا قسمت‌های زیرزمینی گیاهان صحبت به میان می‌آید، بخصوص باید این مطلب را در نظر داشت. مثلا نباید تعجب کنیم که تکثیر یاخته‌های ریشه‌های درختان در نیمه سرد سال صورت میگیرد و فعالیت بافت‌های زاینده در تمام فصل گرما خاموش میشود، درست برعکس آنچه در تنه و یاخته‌های روزمینی صورت میگیرد.

قابلمه کاغذی

به شکل ۸۳ نگاه کنید: تخم مرغ در آبی که توی کلاهک کاغذی ریخته‌اند، می‌پزد. لابد خواهید گفت: «الآن کاغذ آتش میگیرد و آب روی چراغ میریزد». خودتان آزمایش کنید: یک ورق کاغذ پوستی کلفت بردارید، کلاهکی بسازید و به یک حلقهٔ سیمی محکم کنید. یقین خواهید کرد که آتش به کاغذ هیچ صدمه‌ای نمیزند. علت این امر آنسکه آب در ظرف باز فقط تا نقطه غلیان، یعنی تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد گرم میشود. به این دلیل آب ضمن گرم شدن بخصوص که ظرفیت گرمای آن زیاد است، حرارت اضافی کاغذ را جذب میکند و نمیگذارد درجه حرارت کاغذ بمیزان قابل ملاحظه‌ای از ۱۰۰ درجه بالاتر برود و به جائی برسد که کاغذ شعله‌ور شود. (قوطی کاغذی که در شکل ۸۴ نشان داده شده، برای این آزمایش مناسب تر و بهتر است). حتی اگر شعله با کاغذ تماس پیدا! کند، کاغذ نمیسوزد.



شکل ٨٤ — قوطی کاغذی برای جوش آوردن آب.

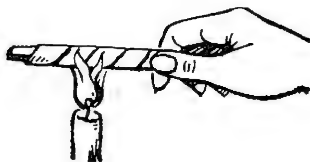


شکل ٨٣ — تخم مرغ در قابلمه کاغذی می‌پزد.

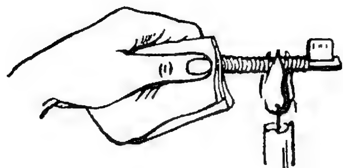
آزمایش تأسف‌آوری که برخی اشخاص پریشان حواس انجام میدهند، یعنی سماور را بدون آب آتش میکنند، و در نتیجه لحیم سماور ذوب میشود از همین نوع پدیده‌ها است. علت معلوم است: همیشه لحیم‌کاری زود گداز است و فقط در مجاورت آب حرارت آن آنقدر بالا نمیرود که خطرناک باشد. قابلمه‌های لحیم شده را نیز نباید بدون آب روی آتش گذاشت، در مسلسل‌های قدیمی آبی، گرم شدن آب از ذوب شدن اسلحه جلوگیری میکرد.

شما میتوانید پلمب داخل قوطی مقوائی را ذوب کنید. فقط باید شعله‌را زیر آن قسمت از مقوا بگیرید که مستقیماً با سرب تماس دارد. فلز که قابلیت هدایت حرارتش زیاد است، بسرعت حرارت مقوا را جذب میکند و نمیگذارد حرارت از درجهٔ گرمای گداز (برای سرب ٣٣٥ درجه) زیاد بالاتر برود و حرارت در این حدود برای شعله‌ور ساختن کاغذ کافی نیست.

آزمایش زیر را نیز میتوان به آسانی انجام داد (شکل ٨٥). یک نوار باریک کاغذی را مثل پیچ به دور میخ یا سیم کلفت آهنی (سیم مسی بهتر است) محکم بپیچید و بعد آن را روی شعلهٔ آتش نگهدارید. شعله به کاغذ میخورد، کاغذ را از دود سیاه میکند، اما تا زمانیکه سیم کاملا داغ نشده است، کاغذ را نمیسوزاند. علت این امر آنستکه قابلیت هدایت حرارت فلز زیاد است. این آزمایش را با میله شیشه‌ای نمیتوان انجام داد. در شکل ٨٦ آزمایشی شبیه به آزمایش بالا را با نخ «نسوز» که محکم به دور کلید پیچیده شده است، ملاحظه میکنید.



شکل ٨٥ — کاغذ نسوز .



شکل ٨٦ — نخ نسوز.

7*

چرا یخ لیز است؟

در کف صاف و صیقلی اطاق آسان‌تر میتوان لیز خورد تا در کف غیر صیقلی. ظاهراً روی یخ نیز باید همینطور باشد، یعنی یخ صاف باید از یخ پست و بلند و ناهموار لیزتر باشد.
اما اگر برای شما پیشامد کند که یک سورتمه دستی پربار را از روی یخ پست و بلند و ناهموار بکشید، آنوقت یقین خواهید کرد که سورتمه، برخلاف انتظار، روی چنین یخی خیلی راحت‌تر از روی یخ صاف لیز میخورد. یخ ناهموار از یخی که مثل آئینه صاف است، لیزتر میباشد! علت این امر آنستکه میزان لیز بودن یخ قبل از هر چیز نه به صاف و صیقلی بودن یخ، بلکه به پدیده کاملا ویژه دیگری بستگی دارد، و آن اینکه: با افزایش فشار، درجهٔ حرارت آب شدن یخ پائین می‌آید.
حالا ببینیم وقتی سورتمه‌سواری یا پاتیناژ میکنیم، چه عملی صورت میگیرد. وقتی با پاتن ایستاده‌ایم، روی سطح کوچکی، فقط چند میلیمتر مربع، تکیه داریم. تمام وزن بدن ما روی این سطح کوچک فشار می‌آورد. اگر آنچه را که در فصل دوم راجع به فشار گفته شد، بیاد بیاورید، میفهمید که شخصی که پاتیناژ میکند به یخ فشار زیادی وارد می‌آورد. یخ تحت فشار زیاد در درجهٔ حرارت کمتری آب میشود. مثلا اگر حرارت یخ ۰ — درجه باشد و فشار پاتن‌ها نقطهٔ آب شدن یخ زیر پاتن‌ها را بیش از ۰ درجه پائین ببرد، یخ زیر پاتن آب خواهد شد*.
در اینصورت چه حالتی بوجود می‌آید؟ در اینصورت بین تیغهٔ پاتن و یخ یک قشر نازک آب قرار دارد، و دیگر لیز خوردن کسی که پاتیناژ میکند، تعجبی ندارد. همینکه پایش را جای دیگر گذاشت آنجا نیز همین عمل صورت میگیرد. همه جا یخ زیر پای شخصی که پاتیناژ میکند، به قشر نازکی از آب تبدیل میشود. در میان تمام اجسام موجود در دنیا فقط یخ است که چنین ویژگی‌هائی دارد. یکی از فیزیسین‌های شوروی یخ را «یگانه جسم لیز در طبیعت» نامیده است. بقیهٔ اجسام صاف و صیقلی هستند، نه لیز.
حالا میتوانیم به آن مسأله برگردیم که آیا یخ صاف لیزتر است یا یخ ناهموار. میدانیم که هر چه سطح اتکاٌ یک بار معین کمتر باشد، فشار آن بر سطح اتکاٌ بیشتر است. چه وقت فشار آدم بر سطح اتکایش بیشتر است: وقتی روی یخ مانند آئینه صاف ایستاده است، یا وقتی روی یخ ناهموار؟ روشن است که در مورد دوم، زیرا در این حالت آدم بر برآمدگی‌ها و برجستگی‌های معدود سطح یخ ناهموار اتکاٌ دارد. و هر چه فشار بر روی یخ زیادتر باشد، یخ بیشتر آب میشود و در

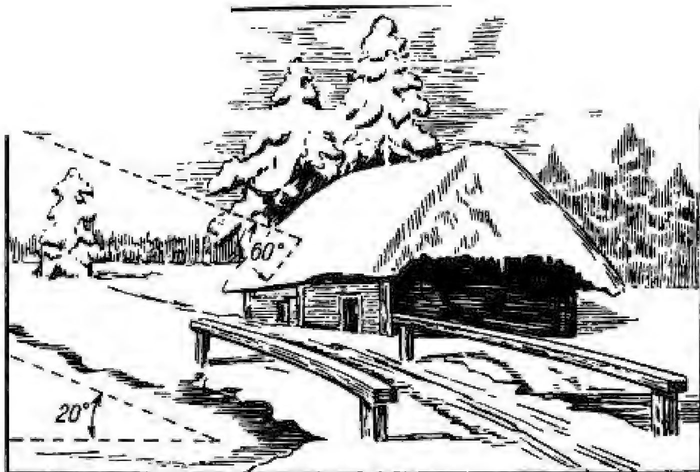
---

*— از نظر تئوری میتوان حساب کرد که برای یک درجه پائین آوردن نقطهٔ آب شدن یخ فشار بسیار زیادی، ۱۳۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، لازم است. آیا سورتمه یا شخصی که پاتیناژ میکند، چنین فشاری بر یخ وارد می‌آورد؟ اگر وزن سورتمه (یا شخصی را که پاتیناژ میکند) بر سطح لغزان سورتمه (یا تیغه پاتن) تقسیم کنیم، عدد بمراتب کوچکتری بدست می‌آید. این امر نشان میدهد که تمام سطح لغزان سورتمه به یخ نمی‌چسبد، بلکه قسمت بسیار کمی از آن به یخ می‌چسبد.
[در محاسبهٔ تئوری فرض میشود که ضمن آب شدن یخ، یخ و آب تحت یک فشار قرار دارند. اما در مثال‌هائی که موٌلف شرح میدهد، پس از آنکه یخ آب شد، فشار وارده بر آب معادل فشار جو است. در این شرایط برای پائین آمدن نقطهٔ آب شدن یخ فشار کمتری لازم است. — هیأت تحریریه].

نتیجه لیزتر است (در صورتیکه تیغه پاتن به اندازه کافی پهن باشد. این قاعده در مورد تیغه تیز پاتن که یخ را می‌برد صدق نمیکند، در اینصورت انرژی حرکت صرف بریدن برآمدگی‌های یخ میشود).
علت بسیاری از پدیده‌های دیگر زندگی روزمرهٔ ما نیز پائین آمدن نقطه آب شدن یخ تحت فشار زیاد میباشد. اگر چند تکه یخ را محکم بهم بفشاریم، در نتیجهٔ این ویژگی یخ، آن چند تکه بهم می‌چسبند و بصورت یخ یکپارچه‌ای در می‌آیند. پسربچه‌ای که هنگام برف بازی گلولهٔ برف را در مشت میفشارد، بطور ناآگاه از این ویژگی ذرات یخ (دانه‌های برف) که تحت فشار زیاد نقطهٔ آب شدنشان پائین می‌آید و بهم میچسبند، استفاده میکند. وقتی گلولهٔ بزرگ برف را روی زمین میغلتانیم تا آدم برفی درست کنیم، باز هم از این ویژگی یخ استفاده میکنیم: دانه‌های برفی که در قسمت پائین گلوله باهم تماس پیدا میکنند، تحت تأثیر فشار توده برف، بهم میچسبند. البته حالا شما میفهمید که چرا در سرمای شدید دانه‌های برف بهم نمی‌چسبند و بزحمت میتوان آدم برفی درست کرد. برف پیاده‌روها در نتیجه فشار پای رهگذران بتدریج متراکم میشود، دانه‌های برف بهم میچسبند و یک قشر یخ یکپارچه بوجود می‌آید.

مسأله قندیل یخ

آیا هرگز فکر کرده‌اید که قندیل‌های یخی که اغلب می‌بینید از لبه شیروانی آویزانند، چطور درست میشوند؟
این قندیل‌های یخ در چه هوائی درست شده‌اند: در هوای نسبتاً گرم یا هوای سرد؟ اگر در هوای نسبتاً گرم درست شده‌اند، چطور آب در حرارت بالاتر از صفر درجه یخ بسته است؟ اگر در هوای سرد درست شده‌اند، پس از کجا روی شیروانی آب پیدا شده است؟
ملاحظه میکنید که مسأله آنقدرها هم که در نظر اول تصور میرود، ساده نیست. برای آنکه قندیل یخ بتواند درست شود، در آن واحد دو حرارت لازم است: بالاتر از صفر برای آب شدن و پائین‌تر از صفر برای یخ بستن.
در واقع هم همینطور است: برف روی شیروانی آب میشود، زیرا پرتو خورشید برف را تا حرارت بیش از صفر گرم میکند، و قطرات آبی که به پائین جاری میشوند در لبهٔ شیروانی یخ می‌بندند، زیرا در لبهٔ شیروانی حرارت پائین‌تر از صفر است. (البته، ما در اینجا از آن موردی که بنای زیر شیروانی را گرم میکنند و قندیل یخ در اثر گرمای زیر شیروانی درست میشود، بحث نمیکنیم).
یک چنین منظره‌ای را در نظر بگیرید: روز آفتابی و سرما در حدود یکی دو درجه است. خورشید بر همه جا پرتو افکنده است، اما اشعهٔ مایل خورشید زمین را آنقدر گرم نمیکنند که برف آب شود. ولی تمایل اشعه خورشید نسبت به طرفی از شیروانی که رو به آفتاب است، کمتر از تمایل نسبت به زمین و نزدیکتر به زاویه قائمه میباشد. معلوم است که هر چه زاویه میان اشعه و سطحی که بر آن میتابند بزرگتر باشد، میزان روشن کردن و گرم کردن اشعه به همان نسبت بیشتر است. (تأثیر اشعه با سینوس زاویه تابش تناسب مستقیم دارد: برای موردی که در شکل ۸۷ نشان داده شده است، برف روی شیروانی ۲/۵ بار بیشتر از برفی که مساحت آن مساوی مساحت شیروانی، اما در سطح افقی باشد، حرارت میگیرد، زیرا سینوس زاویه ۶۰ درجه ۲/۵ برابر سینوس زاویه ۲۰ درجه است). به این دلیل است که سرازیری شیروانی بیشتر گرم میشود و برف روی آن آب میشود. برف



شکل ۸۷– اشعه خورشید شیروانی مایل را بیشتر از سطح زمین افقی گرم میکنند (اعداد اندازه زاویه‌های تابش را نشان میدهند).

آب شده جریان پیدا میکند و قطره قطره از لبهٔ شیروانی آویزان میشود. اما زیر لبهٔ شیروانی حرارت پائین‌تر از صفر است و قطرهٔ آب که در نتیجه تبخیر نیز سرد شده، یخ می‌بندد. روی قطره‌ای که یخ بسته است، قطرهٔ دیگری می‌آید و به همان ترتیب یخ می‌بندد، بعد قطرهٔ سوم و چهارم و الی آخر. بتدریج یک برآمدگی کوچک یخی بوجود می‌آید. یک روز دیگر در هوای شبیه روز اول این برآمدگی‌های یخی درازتر میشوند و در نتیجه قندیل‌های یخ بوجود می‌آیند که مانند استالاکتیت‌های غارهای زیرزمینی بتدریخ درازتر میشوند. در لب بام انبارها و بطور کلی بناهائی که از داخل گرم نمیشوند، قندیل‌های یخ به این ترتیب بوجود می‌آیند.

سبب پدیده‌های عظیم‌تری که در برابر دیدگان ما صورت میگیرد، نیز همین است. مثلا تفاوت آب و هوا در مناطق مختلف و در فصل‌های مختلف سال نیز تا حدود زیادی* به تغییر زاویه تابش اشعه خورشید بر زمین بستگی دارد. فاصلهٔ خورشید از زمین در تابستان و زمستان، و نیز فاصلهٔ خورشید از خط استوا و از قطب‌ها تقریباً به یک اندازه است (تفاوت فاصله بقدری ناچیز است که هیچ اهمیتی ندارد). اما زاویهٔ تابش اشعهٔ خورشید بر سطح زمین در نزدیک خط استوا بزرگتر از نواحی قطبی، و در تابستان بزرگتر از زمستان است. این امر موجب تفاوت قابل ملاحظه‌ای در گرمای روز و در نتیجه، در حیات تمام طبیعت میشود.

---

*– اما تنها به این امر بستگی ندارد. دلیل مهم دیگر کوتاه و بلند بودن روزها، یعنی تفاوت مدت زمانی استکه خورشید زمین را گرم میکند. ضمناً هر دوی این دلائل نتیجه یک عامل نجومی، یعنی مایل بودن محور زمین نسبت به سطح گردش زمین به دور خورشید میباشد.

فصل هفتم

اشعهٔ نور

سایه‌های گرفته شده

سایه‌ها، ای سایه‌های تیره و تار!
با چه کسی همپا نمیگردید؟
بر چه کسی پیشی نمیگیرید؟
لیک نتوانیم ما، هرگز شما را،
نی بگیریم و نه در آغوش بفشاریم.
سایه‌ها، ای سایه‌های تیره و تار!
نکراسوف

نیاکان ما اگر چه نمیتوانستند سایه‌ها را بگیرند، اما میتوانستند از سایه‌ها بهره بردارند: آنها با استفاده از سایه‌ها «شبح»، یعنی تصویر نیمرخ سایه‌ای آدم را میکشیدند.

در دوران ما در پرتو صنعت عکاسی، هر کسی امکان دارد عکس خود یا عکس عزیزان خویش‌را بدست آورد. اما در قرن ۱۸ میلادی مردم از چنین سعادتی بهره‌مند نبودند. تصاویری که نقاشان میکشیدند، بسیار گران بود و عده معدودی به آن دسترسی داشتند. به این دلیل بود که تصویر نیمرخ سایه‌ای شیوع فراوان داشت و تا حدودی جای عکاسی امروزی را میگرفت. تصاویر نیمرخ، یعنی سایه‌های گرفته شده و تثبیت شده، بطور مکانیکی بدست می‌آمدند و از این جهت به عکس که نقطه مقابل آنها است شباهت دارند. ما از نور استفاده میکنیم، نیاکان ما برای همین منظور از عدم نور، یعنی سایه استفاده میکردند.

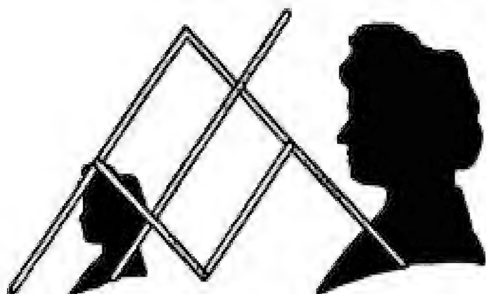
از روی شکل ۸۸ میتوان فهمید که تصاویر نیمرخ سایه‌ای را چطور میکشیده اند. سررا در برابر نور طوری نگهمیداشتند که سایه ویژگی‌های نیمرخ را نشان دهد و دورهٔ آن را با مداد خط میکشیدند. بعد نیمرخ را با مرکب سیاه میکردند، می‌بریدند و روی کاغذ سفید می‌چسباندند و تصویر نیمرخ حاضر میشد. در صورت تمایل، نیمرخ را بوسیله دستگاه مخصوصی که پانتوگراف نام دارد، کوچک میکردند (شکل ۸۹)

تصور نکنید که طرح سیاه ساده نمیتواند ویژگی‌های صورت را منعکس کند. برعکس، گاهی یک تصویر نیمرخ خوب با صورت شباهت حیرت انگیز دارد.



شکل ۸۸ — طریقه قدیمی کشیدن تصویرهای نیمرخ سایه‌ای.

این خصوصیت تصاویر سایه‌ای که در عین سادگی با اصل شباهت دارد، توجه برخی از نقاشان را جلب کرد. این نقاشان به کشیدن صحنه‌ها و منظره‌های کامل از این نوع پرداختند. بتدریج نقاشی نیمرخ یک مکتب تمام‌عیار نقاشان را بوجود آورد.



شکل ۸۹ — کوچک کردن تصویر نیمرخ سایه‌ای.



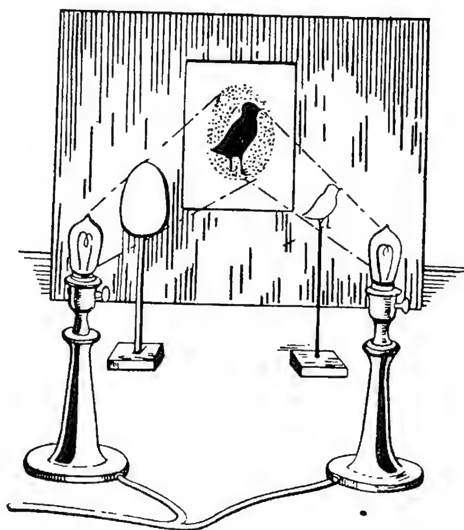
شکل ۹۰ — تصویر تمام قد نیمرخ شیلر (سال ۱۷۹۰).

پیدایش خود کلمه «سیلوئت*» در زبان فرانسه تاریخچهٔ جالب و مضحکی دارد. این کلمه از نام خانوادگی Etienne de Silhouette وزیر دارائی فرانسه در اواسط قرن ۱۸ گرفته شده است که همعصران ولخرج خود را به صرفه‌جوئی معقول میخواند و اشراف فرانسه را سرزنش میکرد که برای تابلو و تصویر مبالغ فوق العاده زیادی خرج میکردند. ارزان بودن تصاویر نیمرخ سایه‌ای برای برخی از ظرفا و بذله‌گویان دستاویز شد تا این تصاویر را تصاویر «à la Silhouette» بنامند.

جوجه در درون تخم مرغ

شما میتوانید با استفاده از ویژگی‌های سایه برای رفقا و دوستانتان نمایش جالب و مضحکی بدهید. از یک ورق کاغذ روغن اندود پرده درست کنید. برای این کار کافی است که در یک ورق مقوا سوراخ چهارگوشی ببرید و کاغذ روغن اندود را روی آن سوراخ بچسبانید. پشت پرده دو چراغ بگذ‌ارید. بینندگان جلو پرده می‌نشینند. یکی از چراغ ها، مثلاً چراغ سمت چپ را روشن کنید.

یک تکه مقوای بیضی شکل که روی سیم نصب شده است، بین چراغ روشن و پرده بگذارید، آنوقت البته روی پرده تصویر تخم مرغی ظاهر خواهد شد. (چراغ سمت راست فعلا روشن نیست). حالا به مهماناِن بگوئید که دستگاه پرتو نگاری را بکار می‌اندازید که جوجهٔ توی تخم مرغ را نشان بدهد! پس ازلحظه‌ای مهمانان واقعاً خواهند دید که تصویر تخم مرغ در اطراف روشن شده است و در وسط آن تصویر نیمرخ جوجه‌ای کاملا واضح دیده میشود (شکل ۹۱).



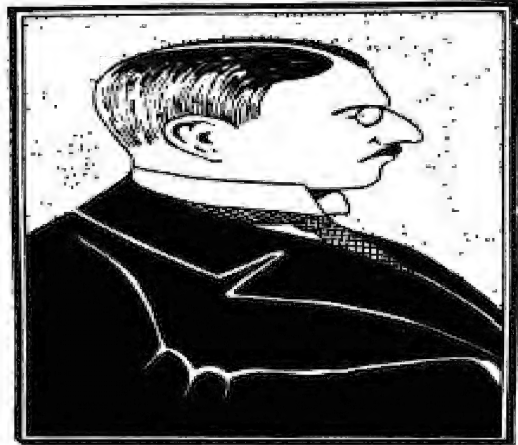
شکل ۹۱ — عکس رنتگن غیر حقیقی.

فهم این معما بسیار آسان است: شما چراغ سمت راست را روشن میکنید. نیمرخ مقوائی جوجه‌ای سر راه اشعهٔ این چراغ قرار دارد، بطوری که سایهٔ آن روی سایهٔ بیضی شکل می‌افتد. قسمتی از سایه بیضی شکل با نور چراغ سمت راست روشن میشود، به این دلیل اطراف «تخم مرغ» روشن‌تر از قسمت وسطی آن میباشد. بینندگانی که جلو پرده نشسته‌اند و از کارهای شما بیخبرند، اگر از فیزیک و کالبدشناسی اطلاعاتی نداشته باشند، البته ممکن است تصور کنند که شما واقعاً تخم‌مرغ رازیر اشعهٔ رنتگن قرار داده اید.

*تصویر نیمرخ سایه‌ای ترجمهٔ کلمهٔ «silhouette» فرانسه است که در بسیاری از زبان‌ها به معنای «تصویر نیمرخ»، «نیمرخ سایه‌ای» و «شبح» بکار میرود (مترجم).

عکس‌های کاریکاتورساننـد

بسیاری از اشخاص نمیدانند که دوربین عکاسی را میشود بدون عدسی (ابژکتیف) هم ساخت و بجای عدسی از یک سوراخ کوچک استفاده کرد. در اینصورت عکس‌ها کمی تار خواهند شد. اگر دوربین عکاسی بدون عدسی بجای سوراخ دو شکاف متقاطع داشته باشد، دوربین عکاسی جالبی میشود. در قسمت جلو دوربین عکاسی دو تخته کار میگذارند. در یکی از این تخته‌ها یک شکاف قائم و در دیگری یک شکاف افقی تعبیه شده است. اگر هر دو تخته کاملا به هم چسبیده باشد، عکسی که با این دوربین عکاسی بر میدارند، مانند عکس با دوربین سوراخ‌دار، یعنی طبیعی خواهد بود. اما اگر تخته‌ها از یکدیگر در فاصله معینی قرار داشته باشند (تخته‌ها را مخصوصاً طوری کار میگذارند که بتوان فاصلهٔ آنهارا نسبت به هم تغییر داد)، منظرهٔ بکلی دیگری مشاهده میشود. در اینصورت عکس بطور مضحکی غیر طبیعی میشود (شکل ۹۲ و ۹۳) و به کاریکاتور بیشتر شباهت دارد تا به عکس.



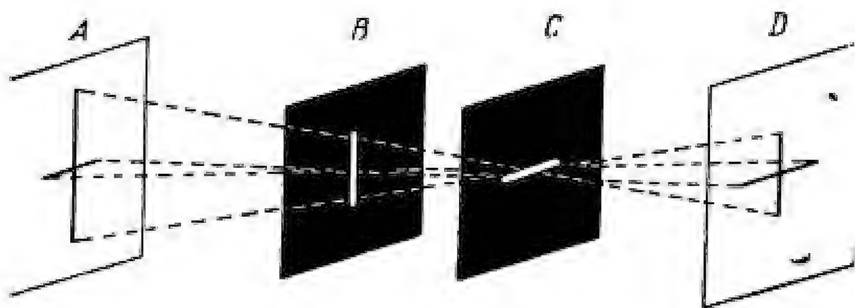
شکل ۹۲ — عکس کاریکاتورمانندی که با دوربین عکاسی شکاف‌دار برداشته شده است. عکس در استداد خط افقی دراز شده است.



شکل ۹۳ — عکس کاریکاتورسانندی که در استداد خط قائم درازشده است (این عکس نیز با دوربین عکاسی شکاف‌دار برداشته شده است). ◄

علت این تغییر غیر طبیعی‌را چگونه باید توضیح داد؟

موردی را که شکاف افقی جلو شکاف قائم قرار دارد بررسی میکنیم (شکل ۹٤). اشعه‌ای که از خطوط قائم شکل D (صلیب) میتابند، از شکاف اول C مانند یک سوراخ معمولی میگذرند و شکاف



شکل ۹۴ — چرا عکسی که با دوربین عکاسی شکاف دار بردارند، بطور مضحکی غیر طبیعی میشود.

عقبی بهیچوجه خط سیر آنها را تغییر نمیدهد. بنا بر این عکس خط قائم روی شیشهٔ مات A به مقیاس متناسب با فاصله شیشه A از تختهٔ C می‌افتد.

اما وقتی شکاف‌ها در همان حالت قرار داشته باشند، عکس خط افقی طور دیگری خواهد افتاد. اشعه از شکاف اول (شکاف افقی) بدون مانع و بدون تقاطع میگذرند تا به شکاف قائم B برسند، و از شکاف قائم B مانند یک سوراخ معمولی میگذرند. عکس این اشعه روی شیشهٔ مات A متناسب با فاصله A از تختهٔ دومی B خواهد بود.

خلاصه، وقتی شکاف‌ها در این حالت قرار داشته باشند، گوئی برای خطوط قائم فقط شکاف جلوی وجود دارد و برای خطوط افقی، بر عکس، فقط شکاف عقبی. و از آنجا که فاصله شکاف جلوی از شیشهٔ مات بیش از فاصلهٔ شکاف عقبی از شیشهٔ مات میباشد، بنا بر این عکس تمام طول‌های قائم بمقیاس بزرگتری از عکس طول‌های افقی روی شیشهٔ A خواهد افتاد، و گوئی عکس در امتداد خط قائم دراز شده است.

اما اگر شکاف قائم جلو شکاف افقی قرار داشته باشد، عکس در امتداد خط افقی دراز خواهد شد (شکل ۹۲ و ۹۳ را باهم مقایسه کنید).

روشن استکه اگر شکاف ها به حالت مایل قرار داشته باشند، تغییرات غیر طبیعی نوع دیگری در عکس بوجود خواهد آمد.

اینگونه دوربین های عکاسی‌را نه فقط برای برداشتن عکس‌های کاریکاتورمانند، بلکه برای کارهای مهمتری نیز میتوان مورد استفاده قرار داد، مثلا برای تهیهٔ انواع نقش و نگارهای معماری، نقشه گل‌های قالی و کاغذ دیواری و غیره، و بطور کلی برای تهیه نقش و نگارهائی که میخواهیم در سمت معینی کشیده یا فشرده شده باشند.

مسألهٔ طلوع خورشید

شما درست ساعت ۵ صبح ناظر طلوع خورشید بودید. اما میدانیم که نور آناً پخش نمیشود، بلکه مدت زمانی لازم است تا اشعه از منبع نور به چشم بیننده برسند.

به این دلیل میتوان چنین سؤالی مطرح کرد: اگر نور آناً پخش میشد، شما همین طلوع خورشید را در چه ساعتی مشاهده میکردید؟

نور مسافت از خورشید تا زمین‌را در ۸ دقیقه طی میکند. ظاهراً، اگر نور آناً پخش میشد، شما طلوع خورشید را ۸ دقیقه زودتر، یعنی در ساعت ٤ و ٥٢ دقیقه مشاهده میکردید.

لابد برای عده‌ای کاملا غیر منتظره خواهد بود که چنین جوابی بکلی نادرست است. این جواب نادرست است، زیرا خورشید به این علت «طلوع میکند» که زمین ما می‌چرخد و نقاط تازه‌ای از سطح خود را به فضائی که روشن شده است، میبرد. به این دلیل اگر نور آناً پخش میشد شما باز هم طلوع خورشید را در همان لحظه‌ای مشاهده میکردید که وقتی نور در مدت زمان معینی پخش میشود، مشاهده میکنید، یعنی درست در همان ساعت ٥ صبح.*

اگر شما با تلسکوپ پیدایش یک زبانه (پرتوبرانس) را در حاشیه خورشید مشاهده میکردید، وضع طور دیگری بود، در اینصورت اگر نور آناً پخش میشد، شما این پدیده را ۸ دقیقه زودتر می‌دیدید.

---

*اگر پدیده‌ای را که «انکسار جوی» نام دارد در نظر بگیریم، آنوقت نتیجه از این هم غیرمنتظره تر میشود. انکسار سبب میشود که خط سیر اشعه در هوا کج شود و در نتیجه به ما امکان میدهد که طلوع خورشید را قبل از نمودار شدن هندسی خورشید در افق، ببینیم. اما اگر نور آناً پخش بشود، دیگر انکسار نمیتواند وجود داشته باشد، زیرا انکسار در نتیجه تفاوت سرعت نور در محیط‌های گوناگون بوجود می‌آید. عدم وجود انکسار سبب میشود که بیننده طلوع خورشید را کمی دیرتر از وقتی که نور آناً پخش نمیشود، ببیند. این تفاوت بسته به عرض جغرافیائی محل مشاهده، حرارت هوا و سایر شرایط از دو دقیقه تا چند شبانه روز (و در عرض‌های جغرافیائی نواحی قطبی حتی بیشتر) تغییر میکند. تناقض جالبی پیش می‌آید: اگر نور آناً (یعنی بینهایت سریع) پخش میشد ما طلوع خورشید را دیرتر از وقتی که نور آناً پخش نمی‌شود، میدیدیم! برای مطالعهٔ شرح و توضیح مفصل‌تر این مسأله به کتاب «آیا فیزیک میدانید؟» مراجعه کنید.

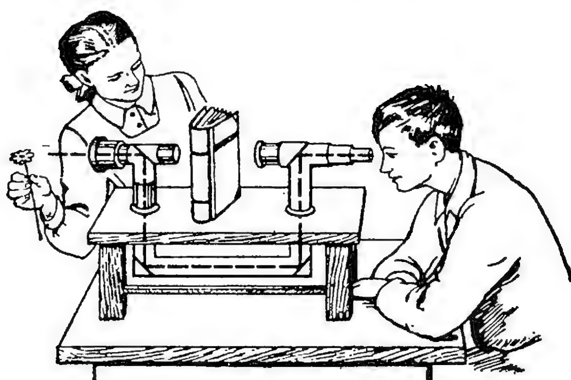
فصل هشتم

انعکاس و انکسار نور

دیدن از پشت دیوار

در سال‌های نود قرن گذشته اسباب جالبی با نام پرطمطراق «دستگاه رنتگن» میفروختند. بیاد دارم وقتی که هنوز دانش‌آموز بودم و برای نخستین بار این اسباب جالب را به دست گرفتم چقدر به حیرت و تعجب افتادم: بوسیله این لوله میتوانستی از پشت هر جسم غیر شفافی ببینی! من نه فقط از پشت یک ورق مقوا، بلکه از پشت تیغه کارد که اشعهٔ رنتگن واقعی هم از آن عبور نمیکنند، هر چه در اطراف بود، میدیدم. اگر به شکل ۹۵ که تصویر کامل لوله در آن رسم شده است، نظری بیاندازید، راز ساختمان ساده این اسباب بازی فوراً برایتان روشن میشود. چهار آئینه کوچک که با زاویه ٤٥ درجه کار گذاشته شده‌اند، اشعه را چند بار منعکس میکنند و سبب میشوند که اشعه، به اصطلاح، جسم غیر شفاف را دور بزنند.

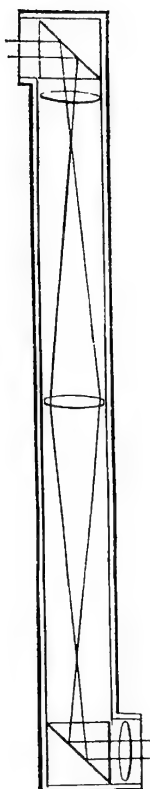
در امور جنگی از اینگونه اسباب ها بمقیاس وسیعی استفاده میشود. اگر با اسبابی که «پریسکوپ» نام دارد (شکل ۹٦) نگاه کنیم، میتوانیم در سنگر بنشینیم و بی آنکه سر خودرا بیرون بیاوریم و خود را زیر آتش دشمن قرار دهیم، عملیات دشمن را تحت نظر بگیریم.



شکل — ۹۵ دستگاه رنتگن موهوم.



شکل ۹۶ — پریسکوپ.



شکل ۹۷ — طرح دوربین زیردریائی.

هر چه طول اشعه از جائی که داخل پریسکوپ میشود تا چشم بیننده بیشتر باشد، به همان اندازه میدان دید اسباب کمتر است، برای افزایش میدان دید چند شیشه اپتیک بکار می‌برند. اما شیشه‌ها قسمتی از نوری را که داخل پریسکوپ میشود، جذب میکنند و در نتیجه اجسام با وضوح کمتری دیده میشوند. این عامل سبب محدود بودن بلندی پریسکوپ میشود، بلندی در حدود بیست متر تقریباً نزدیک به حد نهائی است. پریسکوپ‌های بلندتر از این، میدان دید بسیار کوچکی دارند و اجسام در آنها، بخصوص در هوای ابری و مه‌آلود، خیلی تار دیده میشوند.

ناخدای زیردریائی نیز بوسیله پریسکوپ — اوله درازی که سر آن از آب بیرون آمده است — کشتی‌ای را که مورد حمله قرار داده است، مشاهده میکند. این نوع پریسکوپ‌ها — دوربین‌های زیردریائی — از پریسکوپ‌هائی که در خشکی مورد استفاده قرار میگیرند، بمراتب مرکب‌تر و پیچیده‌تر

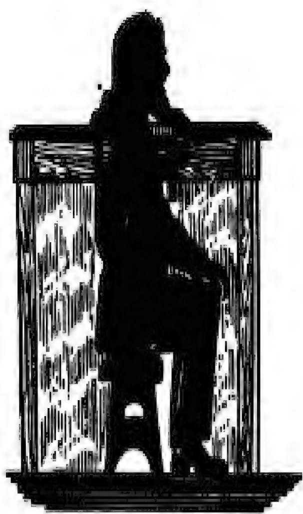
هستند، اما ماهیت پدیده همان است: اشعه در آئینه یا منشوری که در قسمت روی آب پریسکوپ نصب شده است، منعکس میشوند، در طول لوله پائین میروند، در قسمت پائینی لوله از نو منعکس میشوند و به چشم بیننده میرسند (شکل ۹۷).

سر «بریده‌ای» که سخن میگوید

این «معجزه» را اغلب در «موزه‌ها» و «عجایب خانه‌هائی» که در ولایات میگشتند، به معرض نمایش میگذاشتند. کسی که بر راز سر «بریده» آگاهی نداشته باشد، واقعاً حیران میشود. در برابر دیدگان شما میز کوچک و بشقابی و در بشقاب سر زنده آدمی قرار دارد که چشمانش را حرکت میدهد، حرف میزند و خوراک میخورد! ظاهراً زیر میز جائی نیست که بتوان بدن آدم را در آن پنهان کرد. البته به میز نمیشود کاملا نزدیک شد، زیرا میان شما و میز مانعی قرار دارد، اما در هر صورت بطور وضوح می‌بینید که زیر میز چیزی نیست.

اگر برایتان پیش‌آمد که شاهد چنین «معجزه‌ای» باشید، یک تکه کاغذ را مچاله کنید و در فضای خالی زیر میز بیاندازید. راز سر «بریده» فوراً فاش میشود: کاغذ به آئینه میخورد و به عقب پرت میشود. حتی اگر کاغذ به میز هم نرسد، در هر صورت وجود آئینه را نشان میدهد، زیرا انعکاس آن در آئینه ظاهر میشود (شکل ۹۸).

کافی است در هر یک از فواصل میان پایه‌های میز آئینه‌ای نصب کنند تا فضای زیر میز از دور خالی به نظر بیاید، البته فقط درصورتیکه اثاثیه اطاق و تماشاچیان در آئینه‌ها منعکس نشوند. به این دلیل است که باید اطاق خالی، دیوارهای اطاق کاملا یکسان و کف اطاق یکرنگ و بدون نقش و نگار باشد و تماشاچیان هم بحد کافی از آئینه دور باشند.



شکل ۹۸ — راز سر «بریده».

راز سر «بریده» بقدری ساده است که آدم خنده‌اش میگیرد، اما تا وقتی بر این راز آگاهی نیافته‌ای، هزاران حدس میزنی و از هیچ چیز سر در نمی‌آوری.

گاهی این شعبده را طوری نمایش میدهند که جالب‌تر بنظر می‌آید. شعبده‌باز ابتدا میزی را که نه روی آن چیزی هست و نه زیرش، نشان میدهد. بعد از پشت پرده جعبه بسته‌ای را می‌آورد که گویا «سر زنده بی‌تن» درآن قرار دارد (اما در حقیقت جعبه خالی است). شعبده‌باز جعبه را روی میز میگذارد و دیواره جلوی آن را باز میکند، و در برابر دیدگان تماشاچیان حیرت زده، سر «بی تنی» که سخن میگوید، نمایان میشود. لابد خواننده حدس زده است که قسمتی از تختهٔ روی میز باز و بسته میشود و روی سوراخی قرار دارد. وقتی شعبده‌باز جعبه خالی بدون ته را روی میز میگذارد،

کسی که زیر میز پشت آئینه‌ها نشسته است، سر خود را از آن سوراخ بیرون می‌آورد. این شعبده را به اشکال دیگر نیز نشان میدهند، اما ما در اینجا از شرح یکایک آن اشکال خودداری میکنیم. خوانندگان ما وقتی آن اشکال را ببینند خودشان به راز آن پی میبرند.

در جلو یا در عقب؟

عده زیادی از مردم بسیاری از وسائل خانه را بطور معقول بکار نمیبرند. قبلا یاد آور شدیم که بعضی اشخاص بلد نیستند از یخ برای سرد کردن آشامیدنی‌ها درست استفاده کنند: بجای آنکه آشامیدنی را زیر یخ بگذارند، روی یخ میگذارند. معلوم میشود برخی اشخاص از آئینه معمولی هم بلد نیستند درست استفاده کنند. اغلب اوقات برای آنکه صورتشان را خوب ببینند، بجای آنکه چراغ را جلوشان بگذارند و صورتشان را روشن کنند، چراغ را پشت سرشان میگذارند تا «عکس خود را در آئینه روشن کنند!» البته شکی نیست که خوانندگان ما پی میبرند، چراغ را جلو خودشان قرار دهند.

آیا میشود آئینه را دید؟

باز هم یک دلیل دیگر که ما در باره آئینه معمولی اطلاعات کافی نداریم. با اینکه همه مردم هر روز به آئینه نگاه میکنند، اکثریت به سوءال «آیا میشود آئینه را دید؟» جواب نادرست میدهند. آنهائی که معتقدند آئینه را میشود دید، اشتباه میکنند. آئینه خوب و پاک دیده نمیشود. میشود قاب آئینه، کناره‌های آن، اجسامی که در آن منعکس شده اند، دید، اما خود آئینه‌را، بشرطی که کثیف نشده باشد، نمیتوان دید. هیچ سطح منعکس کننده، بر خلاف سطح پخش کننده، بخودی خود دیده نمیشود. (سطح پخش کننده به سطحی گفته میشود که اشعهٔ نور را به هر سو پخش میکند. ما در امور عادی به سطح‌های منعکس کننده، سطح صیقلی و به سطح‌های پخش کننده، سطح مات میگوئیم).

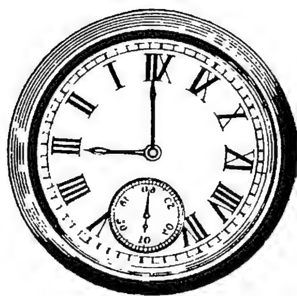
همهٔ تردستی‌ها و شعبده‌ها و حقه بازی‌هائی که با استفاده از آئینه انجام میدهند، مثلا همین شعبدهٔ سر «بریده»، بر اساس آن است که خود آئینه دیده نمیشود، بلکه فقط اجسامی که در آن انعکاس می‌یابند، دیده میشوند.

وقتی در آئینه نگاه میکنیم، که را می‌بینیم؟

عده زیادی جواب میدهند: «معلوم است که خودمان‌را می‌بینیم. عکس ما در آئینه دقیقترین کپیه خود ما است و در تمام جزئیات با ما شباهت تام دارد».

اما آیا میل ندارید به این شباهت یقین حاصل کنید؟ گونهٔ راست شما خال دارد، اما گونهٔ راست عکس شما در آئینه بدون خال است و در عوض گونهٔ چپش خال دارد، خالی که در گونه چپ شما نیست. شما موهایتان را به راست خوابانده‌اید، اما او به چپ خوابانده است. ابروی راست شما بالاتر و پرپشت تر از ابروی چپتان است، ابروی راست او، بر عکس، پائین‌تر و کم‌پشت‌تر

از ابروی چپ است. شما ساعتتان را در جیب راست جلیتقه و دفترچه یادداشتتان را در جیب چپ کتتان میگذارید، اما عکس شما در آئینه عادت دیگری دارد، دفترچه یادداشتش درجیب راست کت و ساعتش درجیب چپ جلیتقه‌اش است. به صفحهٔ ساعت او توجه کنید. شما هرگز چنین ساعتی نداشته‌اید. جا و شکل ارقام این ساعت غیر معمولی است. مثلا شکل رقم هشت طوری است که هرگز هشت را به آن شکل (IIX) نمی‌نویسند و در جای رقم دوازده قرار دارد. رقم دوازده که اصلا نیست. بعد از رقم شش رقم پنج است و همینطور تا یک. بعلاوه حرکت عقربه‌های ساعت عکس شما در جهت مخالف حرکت معمولی عقربه‌های ساعت است.



شکل ۹۹ — آدم همانند شما که اورا در آئینه می‌بینید، چنین ساعتی دارد.

بالاخره عکس شما در آئینه یک نقص جسمانی دارد که تصور میرود شما نداشته باشید. او چپ دست است، با دست چپ می‌نویسد و میدوزد و میخورد، و اگر شما اظهار تمایل کنید که با او دست بدهید دست چپش را به سوی شما دراز میکند.

به دشواری میتوان فهمید که او با سواد است یا نه. در هر صورت با سواد بودنش هم نوع مخصوصی است. تصور نمیرود شما بتوانید حتی یک سطر از کتابی را که او در دست دارد، یا یک کلمه از خط خرچنگ قورباغه‌ای را که با دست چپش می‌نویسد، بخوانید.

کسی که مدعی شباهت تام و تمام با شما میباشد، چنین آدمی است! حالا شما میخواهید از روی او در باره وضع ظاهر خودتان قضاوت کنید...

شوخی را کنار بگذاریم. اگر شما گمان می‌برید که وقتی به آئینه نگاه میکنید، خودتان‌را در آئینه می‌بینید، سخت در اشتباهید. صورت و بالاتنه و لباس اکثریت مردم کاملا متقارن نیستند (گرچه ما معمولا به این مسأله توجه نمیکنیم) : نیمهٔ راست کاملا عین نیمهٔ چپ نیست. در آئینه تمام خصوصیات نیمهٔ راست به نیمهٔ چپ منتقل میشود و بر عکس، بطوریکه قیافه‌ای در برابر ما ظاهر میشود که اغلب تأثیرش با تأثیر قیافهٔ خود ما بسیار تفاوت دارد.

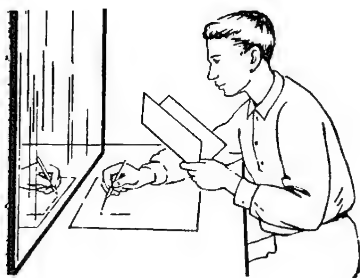
نقاشی جلو آئینه

آزمایش زیر همانند نبودن عکس توی آئینه را با خود جسم بطور بارزتری نشان میدهد.

یک آئینه را روی میز جلو خودتان بطور قائم بگذارید، جلو آئینه یک صفحه کاغذ بگذارید و بکوشید یک شکل، مثلا مربع مستطیل با قطرهای آن را روی کاغذ بکشید. اما ضمن کشیدن مربع مستطیل به دست خودتان نگاه نکنید، بلکه فقط به حرکات دستی که در آئینه منعکس شده است، نگاه کنید.

آنوقت یقین خواهید کرد که کار ظاهراً به این آسانی، تقریباً غیر قابل اجرا است. طی سال‌های متمادی میان تأثیرات بصری و حواس محرکه ما توافق معینی به وجود آمده ت. آئینه این رابطه را

برهم میزند، زیرا سبب میشود که حرکات دست ما بصورت معکوس به چشم برسند. عادت چندین ساله علیه هر حرکت شما اعتراض میکند: شما میخواهید به طرف راست خط بکشید، اما دست به طرف چپ میرود و هیمنطور...



شکل ۱۰۰ — نقاشی جلو آئینه.

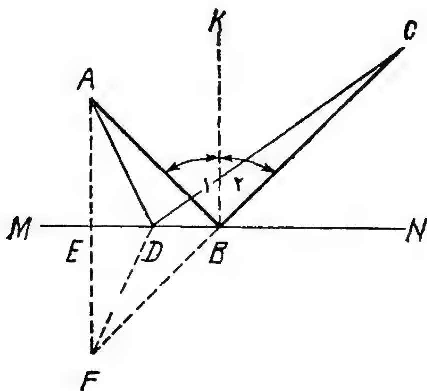
اگر بخواهید جلو آئینه بجای یک شکل هندسی ساده، شکل مرکب‌تری بکشید یا چیزی بنویسید و به خطوط توی آئینه نگاه کنید با پدیده‌های باز هم عجیب‌تری رو برو خواهید شد و در هم برهمی خنده داری خواهید دید.

" خطوطی که روی کاغذ آب خشک‌کن نقش میشوند، نیز مانند خطوط منعکس شده در آئینه، قرینه نوشته اصلی هستند. به خطوط خرچنگ قورباغه‌ای که کاغذ شما را آراسته‌اند، نگاه کنید و بکوشید آنها را بخوانید. شما نمیتوانید یک کلمه، حتی کلمه‌ای را که کاملا خوانا است، بخوانید: حروف بطور غیر عادی به طرف چپ مایل هستند، و مهمتر از همه اینکه به ترتیبی که شما به آن عادت کرده‌اید، پشت سر هم قرار ندارند. اما حالا آئینه را بطور عمودی جلو کاغذ نگاه دارید، آنوقت خواهید دید که همانطور که شما عادت کرده‌اید آنها را ببینید، در آئینه نوشته شده‌اند. در آئینه تصویر متقارن آن چیزی منعکس شده است که خودش تصویر متقارن نوشته معمولی است.

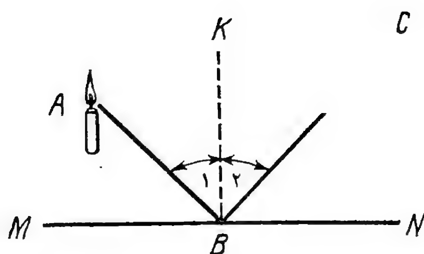
کوتاه‌ترین و سریع‌ترین راه

میدانیم که نور در محیط همگون به خط مستقیم، یعنی از کوتاه‌ترین و سریع‌ترین راه، پخش میشود. اما نور وقتی که از یک نقطه به نقطهٔ دیگر بطور مستقیم نمیرود، بلکه ابتدا در آئینه منعکس میشود و سپس به آن نقطه میرسد، نیز کوتاه‌ترین و سریع‌ترین راه را برمیگزیند.

این راه را مورد بررسی قرار میدهیم: فرض میکنیم که حرف A (شکل ۱۰۱) منبع نور، خط MN آئینه و خط ABC راه شعاع نور از شمع تا چشم C باشد. خط KB بر خط MN عمود است.



شکل ۱۰۲ — نور هنگام انعکاس کوتاه‌ترین راه را برمیگزینند.



شکل ۱۰۱ — زاویه انعکاس (۲) مساوی است با زاویه تابش (۱).

طبق قانون انعکاس زاویهٔ انعکاس (۲) با زاویهٔ تابش (۱) مساوی است. بنا بر این به آسانی میتوان ثابت کرد که راه ABC کوتاه‌ترین راه است از نقطهٔ A به آئینه و از آئینه MN به نقطهٔ C. برای اثبات این مطلب راه ABC را با راه دیگری، مثلا راه ADC (شکل ۱۰۲) مقایسه میکنیم. از نقطه A خط عمود AE بر خط MN را فرود می‌آوریم و آنقدر امتداد میدهیم تا در نقطه F با امتداد شعاع BC متقاطع شود. نقطهٔ F را به نقطهٔ D نیز وصل میکنیم. قبل از هر چیز ثابت میکنیم که مثلث ABE با مثلث EBF مساوی است. این دو مثلث قائم‌الزاویه هستند و یک ضلع مجاور زاویه قائمه، یعنی ضلع EB مشترک است. بعلاوه زاویه EFB و زاویه EAB باهم مساوی هستند، زیرا بترتیب با زاویه (۲) و زاو یه (۱) مساوی هستند. پس AE=EF. بنا بر این چون دو ضلع مجاور زاو یهٔ قائمهٔ مثلث‌های AED و EDF باهم مساوی هستند، این دو مثلث باهم مساوی هستند. پس AD=DF.

بنا بر آنچه گفته شد، ما میتوانیم بجای راه ABC راه مساوی با آن یعنی CBF را (چون AB=FB) برداریم، و همینطور بجای راه ADC راه CDF را. حالا اگر طول CBF و CDF را باهم مقایسه کنیم، می‌بینیم که خط مستقیم CBF از خط منکسر CDF کوتاه‌تر است. بنا بر این ثابت شد که راه ABC از راه ADC کوتاه‌تر است.

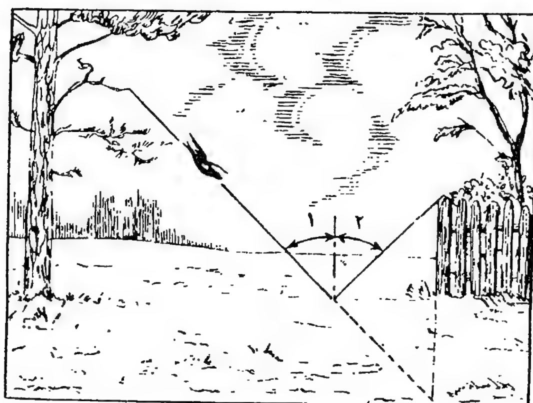
نقطهٔ D در هر جا که باشد، راه ABC همیشه از راه ADC کوتاه‌تر خواهد بود، فقط بشرط آنکه زاویه انعکاس مساوی زاویه تابش باشد. پس، نور واقعاً کوتاه‌ترین و سریع‌ترین راه ممکن میان منبع نور و آئینه و چشم را برمیگزیند. این موضوع را نخستین بار هرون اسکندرونی مکانسین و ریاضی‌دان برجستهٔ یونانی در قرن ۲ میلادی خاطرنشان ساخت.

پرواز کلاغ

توانائی انتخاب کوتاه‌ترین راه در شرایطی نظیر آنچه هم اکنون بررسی کردیم، ممکن است برای حل برخی مسائل بعرنج بکار آید. یکی از این گونه مسأیل مسئله زیر است:



شکل ۱۰۳ — مسأله پرواز کلاغ. کوتاه‌ترین راه تا دیوار را پیدا کنید.



شکل ۱۰۴ — حل مسأله پرواز کلاغ.

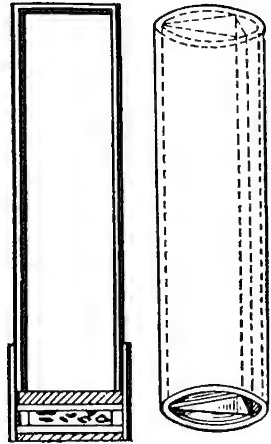
کلاغ روی شاخهٔ درخت نشسته است. در پائین توی حیاط مقداری دانه ریخته است. کلاغ از روی شاخهٔ درخت به پائین میپرد، یک دانه برمیدارد و روی دیوار مقابل می‌نشیند. برای اینکه کوتاه‌ترین راه را پیموده باشد، کجا باید دانه را بردارد؟ (شکل ۱۰۳).

این مسأله عیناً نظیر مسأله‌ای است که ما هم اکنون بررسی کردیم. به این دلیل دادن جواب درست به این سؤال کار دشواری نیست. کلاغ باید از شعاع نور سرمشق بگیرد، یعنی طوری بپرد که زاویه (۱) مساوی زاویه (۲) باشد (شکل ۱۰۴). ما دیدیم که در اینصورت راه کلاغ کوتاه‌ترین راه خواهد بود.

دانستنی‌های تازه و کهنه در باره گل‌نما

همه میدانند اسباب بازی‌ای که گل‌نما نام دارد، چه اسباب بازی خوبی است: یک مشت شیشه‌شکستهٔ رنگارنگ در دو یا سه آئینه‌ٔ مسطح منعکس میشود و اشکال فوق‌العاده زیبائی بوجود می‌آورد و همینکه گل‌نما را کمی بچرخانیم اشکال عوض میشوند. با اینکه گل‌نما در میان عموم مردم بحد کافی معلوم و معروف است، عده معدودی میدانند که در گل‌نما چه تعداد فوق‌العاده زیاد اشکال مختلف بوجود می‌آید. فرض میکنیم که شما گل‌نمائی را که ۲۰ شیشه‌شکسته دارد، به دست گرفته‌اید و هر دقیقه ۱۰ بار میچرخانید تا اشکال تازهٔ انعکاسات شیشه‌شکسته‌ها را تماشا کنید. چقدر وقت برای شما لازم است تا بتوانید همهٔ اشکالی‌را که در گل‌نما بوجود می‌آید، تماشا کنید؟

خیال‌باف‌ترین آدم جهان نمیتواند به این سؤال جواب درست بدهد. اقیانوس‌ها خشک و کوه‌های عظیم نیست و نابود خواهند شد، اما باز هم نقش و نگارهای بیمانندی که در اسباب بازی کوچک شما نهانند، به پایان نخواهند رسید، [illegible] بوجود آمدن [illegible] اشکال ممکنهٔ نقش و نگارها حد



شکل ۱۰۵ — گل‌نما.

اقل ۰۰ ۰۰۵ میلیون سال وقت لازم است. بیش از پانصد میلیارد سال باید گل نما را چرخاند تا بتوان همهٔ نقش و نگارهای آن را تماشا کرد!

نقش و نگارهای بی‌نهایت گوناگون و دائماً متغیر گل نما از مدت‌ها پیش نظر نقاشان زینت‌گر را بخود جلب کرده است، زیرا سمند خیالات و تصورات آنها به گرد توانائی آفرینندگی این اسباب کوچک هم نمیرسد. در گل نما گاهی چنان نقش و نگار های زیبای حیرت انگیز بوجود می‌آید که بهترین نمونه برای آرایش و نقش و نگار کاغذ دیواری و پارچه و سایر چیزها می‌باشد.

اما توده‌های وسیع مردم دیگر به گل‌نما آن علاقه‌ای را نشان نمیدهند که صد سال پیش، وقتی این اسباب بازی هنوز تازه اختراع شده بود، به آن نشان میدادند. در آن زمان شعرا و نویسندگان در مدح آن قلم‌فرسائی میکردند.

گل‌نما در سال ۱۸۱٦ در انگلستان اختراع شد و پس از یک سال، یک سال و نیم به روسیه آمد و مورد استقبال گرم و شور انگیز عموم قرار گرفت.

ایزمایلوف افسانه سرای معروف در مجلهٔ «بلاگوناسرنی» («نیک اندیش») در ژوئیهٔ سال ۱۸۱۸ راجع به گل نما چنین نوشت:

«همینکه آگهی گل‌نما را خواندم، این افزار بی همتا را به دست آوردم —

چه بیند دیدگانم با نگاهی؟
در این اشکال گوناگون چهٔ اختر
صدف‌ها و زمردها و یاقوت
زبرجدها و لعل و در و گوهر
دو صد الماس و مروارید غلتان
همی بیند همه با هم برابر!
چو دستم‌را دهم کوچک تکانی
به چشمانم فتد صد نقش دیگر.

نه فقط بازبان شعر، بلکه به نثر هم نمیتوان آنچه را در گل‌نما می‌بینی توصیف کرد. با کوچکترین حرکت دست اشکال تغییر میکنند و هیچ یک از آنها به دیگری شباهتی ندارد. چه نقش و نگارهای زیبا که در آن نمی‌بینی! آه چه خوب بود اگر میشد آنهارا روی پارچه گلدوزی کرد! اما چنین ابریشم‌های رنگارنگ درخشان کجا میتوان یافت؟ اینست بهترین سرگرمی هنگام بیکاری و دلتنگی. نقش و نگارهای گل‌نما را تماشا کردن بمراتب بهتر از نشستن و با ورق فال گرفتن است.

میگویند که گل نما در قرن ۱۷ هم بوده است. حالا در انگلستان آن را از نو ساخته و تکمیل کرده‌اند و در حدود دو ماه پیش از آنجا به فرانسه آورده‌اند. یکی از ثروتمندان فرانسه گل نمائی به قیمت ۲۰۰۰۰ فرانک سفارش داد، و دستور داد بجای شیشه‌شکسته و مهره‌های رنگارنگ در آن مروارید و سنگ‌های قیمتی بگذارند».

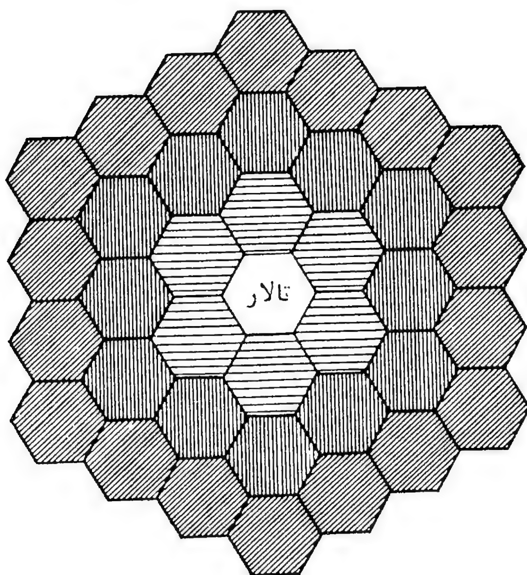
سپس افسانه‌سرا لطیفهٔ خنده‌داری در باره گل‌نما مینویسد و بالاخره با تذکر حزن‌انگیز زیر که وضع دوران عقب‌ماندگی و ارباب رعیتی را کاملا نشان میدهد، مقالهٔ خویش را به پایان میرساند:

«روسپینی فیزیسین و مکانیسین امپراطوری که با ساختن ابزارهای بصری بسیار عالی معروفیت بسزائی کسب کرده است، گل‌نما میسازد و دانه‌ای ۲۰ روبل میفروشد. بدون شک علاقمندان به گل‌نما بمراتب بیشتر از علاقمندان به سخنرانی‌ها و درسهای فیزیک و شیمی آقای روسپینی میباشند، سخنرانی‌ها و درسهائی که، با نهایت تأسف و تعجب، از آنها هیچ نفع شخصی نصیب ایشان نشده است».

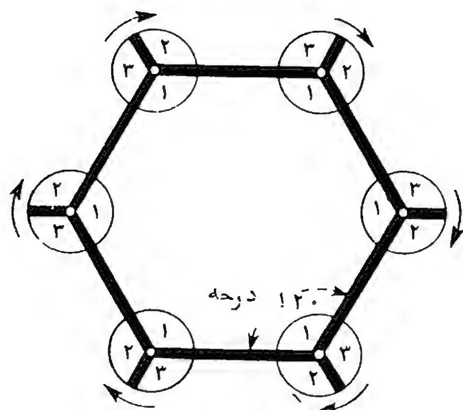
مدت مدیدی گل‌نما فقط یک اسباب بازی جالب بود، فقط در دوران ما برای کشیدن نقش و نگار مورد استفاده قرار گرفته است. اسبابی اختراع کرده‌اند که بوسیله آن میتوان از نقش و نگارهای گل‌نما عکس برداشت و بدین ترتیب بطور مکانیکی نقش و نگارهای گوناگون ابداع کرد.

کاخ های اوهام و سراب

اگر ما به اندازه یک تکه شیشه‌شکسته کوچک میشدیم و در داخل گل نما قرار میگرفتیم، چه احساس میکردیم؟ وسیله‌ای وجود دارد که میتوان با آن این آزمایش را انجام داد. تماشاچیان نمایشگاه جهانی در پاریس در سال ۱۹۰۰ امکان این آزمایش کم‌نظیر را داشتند. در این نمایشگاه چیزی، مانند گل نما، اما غیر متحرک، که «کاخ اوهام» نام داشت مورد استقبال وسیعی قرار گرفته بود. تالار شش‌گوشه‌ای را در نظرتان مجسم کنید که هر دیوار آن یک آئینه عظیم کاملا صیقلی



شکل ۱۰۶ — در نتیجه سه بار انعکاس دیوارهای تالار مرکزی ۳۶ تالار پدید می‌آید.



شکل ۱۰۷



شکل ۱۰۸ — راز «کاخ سراب»

و صاف باشد. در گوشه‌های این کاخ آئینه آرایش‌های معماری از قبیل ستون و گیلویه و غیره ساخته شده و به گچ کاری‌های سقف متصل میشود. تماشاچی در داخل چنین تالاری گوئی خود را در میان گروه بیشماری آدم‌های عین خودش و در درون یک سلسله تالار و ستون بی‌پایان می‌یافت. آنها از همه سو اورا احاطه کرده و تا چشم کار میکرد گسترش یافته بودند.

تالارهائی که در شکل ۱۰۶ بطور افقی هاشور زده شده، در نتیجهٔ یک بار انعکاس پدید می‌آیند، در نتیجهٔ دو بار انعکاس ۱۲ تالاری که بطور عمود بر تالارهای اولی هاشور زده شده، پدید می‌آیند و در نتیجهٔ سه بار انعکاس ۱۸ تالار دیگر (با هاشور مایل) بر این تالارها افزوده میشود. با هر انعکاس تعداد تالارها افزایش می‌یابد و تعداد کل آنها بسته به میزان صیقلی و صاف‌بودن آئینه‌ها و دقت توازی دیوارهای روبرو در تالار منشوری میباشد. تالارهائی که در نتیجه دوازدهمین انعکاس پدید می‌آمدند، عملا تمیز داده میشدند، یعنی افق دید تماشاچی ۴٦۸ تالار را در بر میگرفت.

هر کسی که بر قوانین انعکاس نور آگاهی داشته باشد، دلیل این «معجزه» برایش روشن است، زیرا در اینجا سه جفت آئینهٔ موازی و ده جفت آئینه که نسبت بهم با زاویهٔ معینی نصب شده اند، وجود دارد. به این دلیل تعجب آور نیست که تعداد انعکاسات یک جسم در آنها تا این حد زیاد است.

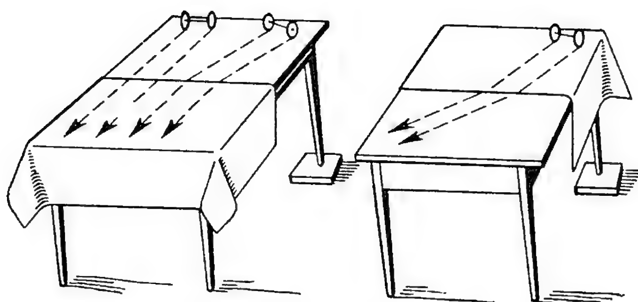
تأثیرات بصری که در کاخ موسوم به «کاخ سراب» در نمایشگاه پاریس حاصل شده بود، از این هم جالب تر است. تشکیل دهندگان این «کاخ» بر تعداد بیشمار انعکاسات، تغییر آنی تمام منظره را نیز افزوده بودند. گوئی گل‌نمای عظیم متحرکی ساخته بودند که تماشاچیان در درون آن قرار میگرفتند.

در این «کاخ سراب» تغییر مناظر به ترتیب زیر صورت میگرفت: دیوارهای آئینه‌ای در فاصلهٔ کمی از کنار آئینه در طول بریده شده بودند و زاویه‌ای که بوجود آمده بود، میتوانست حول محوری بچرخد و به زاویهٔ دیگری تبدیل شود. بطوریکه در شکل ۱۰۷ مشاهده میشود، ممکن بود گوشه‌ها را سه بار مطابق گوشه‌های ۱ و ۲ و ۳ عوض کرد. حالا در نظرتان مجسم کنید که در همهٔ گوشه‌های شمارهٔ ۱ منظرهٔ جنگل مناطق حاره، و در گوشه‌های شمارهٔ ۲ منظره و اثاثیهٔ یک تالار قصرهای عربی، و در گوشه‌های شماره ۳ یک معبد هندی قرار دارد. با یک حرکت مکانیسمی که پنهان بود و گوشه‌ها را میچرخاند، جنگل منطقهٔ حاره به تالار قصر عربی یا معبد هندی تبدیل میشد. تمام اسرار این «ساحری» بر اساس یک پدیدهٔ سادهٔ فیزیکی یعنی انعکاس اشعهٔ نور، بنا شده بود.

چرا و چگونه نور منکسر میشود؟

اینکه اشعهٔ نور هنگام عبور از یک محیط به محیط دیگر منکسر میشوند، به نظر عده‌ای یک بوالهوسی عجیب طبیعت است. ظاهراً مفهوم نیست که چرا نور در محیط جدید سمت اولیهٔ خود را حفظ نمیکند و راه کجی را برمیگزیند. کسانی که اینطور فکر میکنند، لابد راضی خواهند شد اگر بدانند که شعاع نور در واقع همان کاری را میکند که یک ستون سرباز هنگام عبور از زمین مناسب برای راه‌پیمائی به زمین نا مناسب برای راه‌پیمائی میکنند. جون گرشل منجم و فیزیسین مشهور قرن ۱۹ در این باره میگوید:

«یک دسته سرباز را در نظر بگیرید که از زمینی میگذرند که با خط مستقیم به دو منطقه تقسیم شده است، یکی از این دو منطقه صاف و هموار و برای راه‌پیمائی مناسب است، دیگری پست و بلند و ناهموار و نا مناسب، بطوری که در آن نمیتوان با سرعت منطقهٔ اول راه‌پیمائی کرد. بعلاوه فرض میکنیم که زاویهٔ میان صف سربازان و خط مرزی میان دو منطقه طوری است که همهٔ سربازان در یک زمان باهم از مرز نمیگذرند، بلکه یک بیک و یکی پس از دیگری میگذرند. در اینصورت هر سرباز پس از آنکه از مرز گذشت، روی زمینی حرکت میکند که دیگر نمیتواند با سرعت اولیه راه برود. او دیگر نمیتواند نظام خود را با آن قسمت از صف که هنوز در زمین خوب راه میروند، حفظ کند و دقیقه به دقیقه بیشتر از آن عقب خواهد ماند. چون هر سرباز پس از عبور از مرز با همین دشواری در حرکت روبرو خواهد شد، پس اگر سربازان صف را برهم نزنند و پراکنده نشوند و به حرکت در صف ادامه بدهند، تمام آن قسمت صف که از مرز گذشته است، ناگزیر از قسمتی که هنوز نگذشته، عقب میماند و میان این دو قسمت صف در محل تقاطع با مرز، یک زاویهٔ منفرجه بوجود می‌آید. و چون هر سرباز برای آنکه پایش درست باشد و راه را بر دیگران سد نکند، مجبور است با زاویه عمود به صف تازه مستقیماً به جاو برود، بنا بر این راهی که او



شکل ۱۰۹ — آزمایشی که علت انکسار نور را نشان میدهد.

پس از عبور از مرز می‌پیماید، اولا — عمود به صف تازه خواهد بود، ثانیا — نسبت این راه به راهی که در صورت عدم تقلیل سرعت می‌پیمود، مساوی خواهد بود به نسبت سرعت تازه به سرعت اولیه».

شما میتوانید این آزمایش شبیه به انکسار نور را، به مقیاس کوچکتر، روی میزتان انجام دهید و به چشم خود ببینید. روی نصف میز رومیزی پهن کنید (شکل ۱۰۹)، میز را کمی مایل قرار بدهید و دو چرخ کوچک را که محکم به یک محور نصب شده‌اند (مثلا از یک لکوموتیو شکسته یا اسباب بازی دیگر بچه‌ها) روی میز بگذارید تا بغلتند. اگر زاویهٔ میان سمت حرکت چرخ و لبهٔ رومیزی زاویه قائمه باشد، انکسار راه صورت نخواهد گرفت. در اینصورت شما یک قاعدهٔ انکسار نور را به چشم خود می‌بینید: شعاعی که به سطح مقسم دو محیط عمود باشد، منکسر نمیشود. اگر راه چرخ‌ها نسبت به لبهٔ رومیزی مایل باشد، در آنصورت راه در لبهٔ رومیزی، یعنی در مرز دو محیط با سرعت‌های مختلف، منکسر میشود.

مشاهده میشود که هنگام عبور از آن قسمت میز که سرعت بیشتر است (قسمت بدون رومیزی) به آن قسمت که سرعت کمتر است (رومیزی)، سمت راه («شعاع نور») به «خط عمود سقوط» نزدیک میشود و در عکس اینصورت از خط عمود دور میشود.

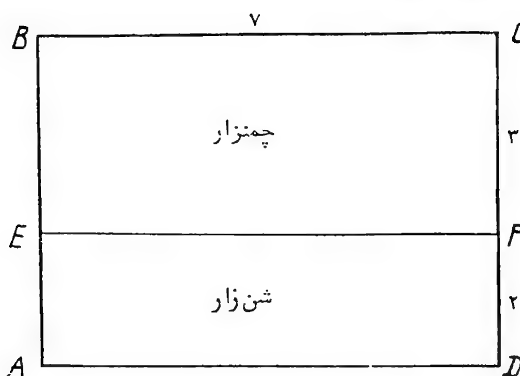
ضمناً از آنچه گفته شد میتوان قاعدهٔ مهمی را که ماهیت مطلب مورد بحث را نشان میدهد، بدست آورد، و آن قاعده اینکه: انکسار فقط در موردی صورت میگیرد که سرعت در دو محیط متفاوت باشد، و هر چه تفاوت سرعت بیشتر باشد، میزان انکسار به همان نسبت بیشتر خواهد بود. آنچه «ضریب انکسار» نامیده میشود و میزان انکسار شعاع نور را معین می‌کند، چیزی نیست جز نسبت این دو سرعت. وقتی میخوانید که ضریب انکسار نور هنگام عبور از هوا به آب $\frac{۴}{۳}$ است، در عین حال میفهمید که سرعت حرکت نور در هوا تقریباً ۱/۳ برابر سرعت نور در آب است.

از اینجا یک خصوصیت آموزنده دیگر پخش نور نیز حاصل میشود. در حالیکه شعاع نور هنگام انعکاس از نزدیک‌ترین راه میرود، هنگام انکسار از سریع‌ترین راه میگذرد: شعاع نور از هیچ راه دیگری زودتر از این راه منکسر شده به «مقصد» نمیرسد.

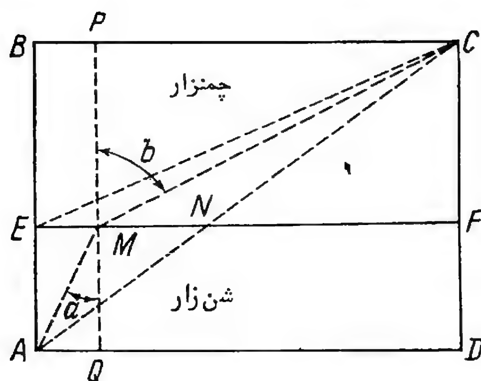
اما آیا واقعاً میتوان از راه منکسر زودتر از راه مستقیم به مقصد رسید؟ بله، وقتی سرعت حرکت در قسمت‌های مختلف راه متفاوت است، از راه منکسر زودتر میتوان به مقصد رسید. ببینیم اهالی دهی که میان دو ایستگاه راه‌آهن واقع است و به یکی از ایستگاهها خیلی نزدیک میباشد، چه میکنند. آنها برای اینکه زودتر به ایستگاه دور برسند، اول با اسب در جهت عکس به ایستگاه نزدیک میروند، آنجا سوار قطار میشوند و به ایستگاه دور میروند. مسلم است که اگر آنها با اسب مستقیماً به ایستگاه دور میرفتند، راهشان کوتاه‌تر بود، اما ترجیح میدهند که راه دراز را با اسب و با قطار بروند، زیرا از آن راه زودتر به مقصد میرسند.

حالا چند دقیقه‌ای صرف بررسی یک مثال دیگر میکنیم. سرباز سواره‌نظام باید برای دادن گزارش به فرمانده از نقطه A به چادر فرمانده در نقطه C برود (شکل ۱۱۰). فاصله میان سرباز و چادر از یک منطقه شن‌زار و یک منطقه چمنزار تشکیل یافته و خط مستقیم EF مرز میان این دو منطقه است. سرعت حرکت اسب در شن‌زار دو بار کمتر از سرعت در چمنزار است. سرباز سواره‌نظام از چه راهی باید برود تا در اسرع وقت به چادر برسد؟

در نظر اول تصور میرود که سریع‌ترین راه خط مستقیمی است که از نقطه A به نقطه C کشیده شود. اما این اشتباه محض است و من گمان نمیکنم سواره‌نظامی پیدا شود که این راه را برگزیند. حرکت آهسته در شن‌زار او را به این فکر صحیح می‌اندازد که منطقهٔ شن‌زار را از راهی برود که کمتر کج و در نتیجه کوتاه‌تر باشد. البته در اینصورت قسمت دوم راه که از چمنزار میگذرد درازتر خواهد بود، اما از آنجا که در چمنزار دوبار سریع‌تر میتوان حرکت کرد، دراز شدن راه بیش از وقتی که صرفه‌جوئی کرده است، نخواهد شد و در نتیجهٔ کلی تمام راه را در مدت زمان کمتری خواهد پیمود. بعبارت دیگر، راه سرباز سواره‌نظام باید در مرز دو منطقه منکسر شود، ضمناً طوری که زاویه راه از چمنزار و خط عمود بر خط مرزی دو منطقه از زاویه راه شن‌زار با این عمود بزرگتر باشد.



شکل ۱۱۰ — مسأله سرباز سواره نظام. سریع‌ترین راه از A به C را پیدا کنید.



شکل ۱۱۱ — حل مسأله سرباز سواره نظام. سریع‌ترین راه، راه AMC میباشد.

آنهائی که هندسه، و در این مورد معین قضیهٔ فیثاغورث را میدانند، میتوانند حساب کنند که راه مستقیم AC واقعاً هم سریع‌ترین راه نیست، و با اندازه‌های عرض دو منطقه و مسافت‌هائی که ما در نظر داریم، اگر مثلاً از راه منکسر AEC (شکل ۱۱۱) برویم زودتر به مقصد میرسیم.

در شکل ۱۱۰ نشان داده شده است که عرض منطقه شن‌زار ۲ کیلومتر، عرض منطقه چمنزار ۳ کیلومتر و فاصله BC برابر ۷ کیلومتر است. بنا بر این طبق قضیهٔ فیثاغورث تمام طول AC (شکل ۱۱۱) میشود:

$$\sqrt{۵^۲+۷^۲}=\sqrt{۷۴}=۸/۶۰ \text{ کیلومتر}$$

به آسانی میتوان فهمید که قسمت AN، یعنی راه شن‌زار، از این مسافت $\frac{۲}{۵}$ تمام مسافت یعنی ۳/۴۴ کیلومتر است. از آنجا که حرکت در شن‌زار دو بار کندتر از حرکت در چمنزار صورت میگیرد، پس ۳/۴۴ کیلومتر راه شن‌زار، از لحاظ زمان لازم برای پیمودن آن، مساوی ۶/۸۸ کیلومتر راه چمنزار است. بنا بر این تمام راه مختلط خط مستقیم AC که ۸/۶۰ کیلومتر میباشد، معادل است با ۱۲/۰۴ کیلومتر راه چمنزار.

حالا همین حساب تبدیل تمام راه را به راه از چمنزار برای خط منکسر AEC انجام میدهیم. قسمت AE مساوی ۲ کیلومتر و از لحاظ زمان معادل ۴ کیلومتر راه از چمنزار میباشد. قسمت دیگر، یعنی EC، مساوی است به:

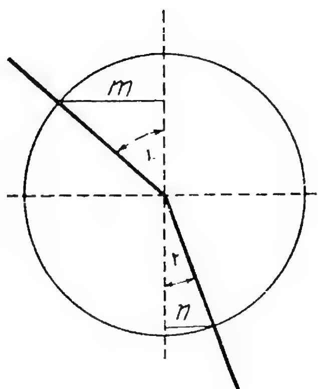
$$EC=\sqrt{۳^۲+۷^۲}=\sqrt{۵۸}=۷/۶۱ \text{ کیلومتر}$$

پس تمام راه منکسر AEC مساوی است به:

$$۴+۷/۶۱=۱۱/۶۱ \text{ کیلومتر}$$

بنا براین، راه مستقیم «کوتاه» معادل ۱۲/۰٤ کیلومتر حرکت درچمنزار و راه منکسر «دراز» معادل ۱۱/٦۱ کیلومتر حرکت در همان زمین میباشد. بطوری که مشاهده میکنید، حرکت از راه «دراز» به اندازه ۰/٤۳=۱۱/٦۱ — ۱۲/۰٤، یعنی تقریباً نیم کیلومتر صرفه دارد.

اما ما هنوز سریع‌ترین راه را نشان نداده‌ایم. برای پیدا کردن سریع‌ترین راه باید دست به دامن مثلثات شد. بطوری که تئوری می‌آموزد، نزدیک‌ترین راه راهی است که نسبت سینوس زاویه b به سینوس زاویه a مساوی باشد با نسبت سرعت حرکت در چمنزار به سرعت حرکت در شن‌زار، یعنی $\frac{۲}{۱}$ بعبارت دیگر، باید راهی را برگزید که سینوس b دو برابر سینوس a باشد. برای رسیدن به این مقصود باید از نقطهٔ M که‌در یک کیلومتری نقطه E واقع است، ازسرزمیان دو منطقه بگذریم. آنوقت واقعاً



شکل ۱۱۲ — سینوس چیست؟ نسبت m به شعاع دایره سینوس زاویه(۱) و نسبت n به شعاع دایره سینوس زاویه (۲) میباشد.

$$\sin a = \frac{۱}{\sqrt{۱+۲^۲}} \quad , \quad \sin b = \frac{٦}{\sqrt{۳^۲+٦^۲}}$$

و نسبت

$$\frac{\sin b}{\sin a} = \frac{٦}{\sqrt{٤٥}} : \frac{۱}{\sqrt{٥}} = \frac{٦}{۳\sqrt{٥}} : \frac{۱}{\sqrt{٥}} = ۲$$

یعنی درست مساوی نسبت دو سرعت خواهد بود.

حالا ببینیم در این مورد طول کلی راه به حساب راه در چمنزار چند کیلومتر خواهد شد. حساب میکنیم: $AM = \sqrt{۲۲+۱۲}$ که معادل است با ٤/٤۷ کیلومتر راه در چمنزار.

$$MC = \sqrt{٤٥} = ٦/۷۱ \text{ کیلومتر}$$

طول تمام راه مساوی است به: کیلومتر ۱۱/۱۸=٦/۷۱+٤/٤۷

یعنی ۸٦۰ متر کوتاه‌تر از راه مستقیم که میدانیم معادل ۱۲,۰٤ کیلومتر است.

ملاحظه میکنید که در اینگونه شرایط راههای منکسر چقدر باصرفه است. شعاع نور هم درست همین سریع‌ترین راه را برمیگزیند، زیرا قانون انکسار نور با حل ریاضی مسأله دقیقاً مطابقت دارد: نسبت سینوس زاویه انکسار به سینوس زاویه تابش مساوی است با نسبت سرعت در محیط جدید به سرعت در محیط اولیه. از طرف دیگر، این نسبت مساوی است به ضریب انکسار نور در دو محیط مربوطه.

اگر خصوصیات انعکاس و انکسار نور را در یک قانون گرد بیاوریم، میتوانیم بگوئیم که شعاع نور در کلیهٔ موارد از سریع‌ترین راه عبور میکند، یعنی تابع قانونی است که در فیزیک به

«اصل سریع‌ترین راه» (اصل فرما) معروف است. چنانچه محیط ناهمگون باشد و قابلیت شکست کردن آن بتدریج تغییر کند، مثلا جو کره زمین، در این مورد هم نور از سریع‌ترین راه میگذرد. علت کج شدن جزئی اشعهٔ ستارگان که در اصطلاح منجمین «انکسار جوی» نامیده میشود، نیز همین است. هوای دور کرهٔ زمین هر چه به زمین نزدیکتر باشد، متراکم‌تر است و شعاع نور در آن بتدریج شکسته میشود، بطوری که طرف مقعر آن رو به زمین است. در اینصورت شعاع نور در طبقات بالائی جو که کمتر از سرعت آن میکاهند، مدت زیادتری، و در طبقات پائینی که بیشتر از سرعت آن میکاهند، مدت کم‌تری میماند و در نتیجه از این راه زودتر به مقصد میرسد تا از راهی که خط کاملا مستقیم باشد.

اصل سریع‌ترین راه (اصل فرما) تنها در مورد پدیده‌های نوری صدق نمیکند، بلکه صوت و بطور کلی همه حرکت‌های موجی شکل، بدون بستگی به طبیعت امواج، کاملا تابع این اصل هستند.

بدون شک، خوانندگان مایلند بدانند علت این خصوصیت حرکت‌های موجی شکل چیست. نظریات* شردینگر فیزیسین برجسته معاصر را که به این پدیده مربوط است، نقل میکنم. شردینگر بر اساس مثال دستهٔ سربازی که در زمین ناهمگون حرکت میکند و ما آن را بررسی کردیم، حرکت شعاع نور را در موردی که تراکم محیط بتدریج تغییر میکند، در نظر میگیرد و مینویسد:

«فرض میکنیم برای آنکه نظام صف کاملا حفظ شود، سربازان بوسیله نیزه بلندی که هر یک از آنها آن را محکم گرفته است، به یکدیگر وصل شده‌اند. به سربازان فرمان میدهند که همه با حد اکثر سرعت ممکنه بدوند. اگر وضع زمین نقطه به نقطه بتدریج تغییر کند، در آنصورت، مثلا، ابتدا جناح راست صف و سپس جناح چپ صف سریع‌تر حرکت خواهد کرد و گردش صف خود بخود صورت خواهد گرفت. ضمناً مشاهده خواهیم کرد که راهی‌را که سربازان پیموده‌اند نه خط مستقیم، بلکه منحنی است. اینکه این راه، با وضع مشخص زمین، از لحاظ زمان کوتاه‌ترین راه میباشد، بحد کافی روشن است، زیرا هر سرباز کوشیده است هر چه ممکن است سریع‌تر حرکت کند».

رابینسون‌های تازه

بدون شک میدانید که قهرمانان رمان ژول ورن «جزیره اسرارآمیز» که به سرزمین غیر مسکونی افتاده بودند، بدون کبریت و چخماق آتش تهیه کردند. به رابینسون برقی که درخت را آتش زد، کمک کرد، اما به رابینسون‌های ژول ورن نه تصادف، بلکه استعداد اختراع و حاضرذهنی مهندس و اطلاعات دقیق وی از قوانین فیزیک، کمک کرد. بیاد دارید که وقتی پنکروف ملوان ساده‌لوح از شکار برگشت و مهندس و روزنامه‌نگار را جلو خرمن آتشی که زبانه میکشید دید، چقدر متعجب شد و پرسید:

«— آخر این آتش را که روشن کرده است؟

اسپیلت جواب داد:

— خورشید.

---

*این نظریات را شردینگر در سخنرانی خود در استکهلم هنگام دریافت جایزه نوبل (در سال ۱۹۳۳) اظهار داشت.

روزنامه‌نگار شوخی نمیکرد. واقعاً آتشی را که موجب آنهمه وجد و شعف ملوان گردیده بود، خورشید روشن کرده بود. ملوان آنچه را به چشم خود میدید، باور نمیکرد و چنان حیران شده بود که حتی نمیتوانست آنطور که باید و شاید از مهندس توضیح بخواهد. هربرت پرسید:

— پس ذره‌بین داشتید؟

مهندس جواب داد:

— نه، اما ذره‌بین درست کردم.

و ذره‌بین را نشان داد. این ذره‌بین از دو شیشه تشکیل شده بود که مهندس از ساعت خودش و ساعت اسپیلت در آورده، لبه‌های آنها را با گل به یکدیگر چسبانده و فضای میان آن را پر آب کرده بود. بدین ترتیب یک عدسی واقعی درست شده بود که مهندس بوسیله آن اشعهٔ خورشید را روی خزه خشک متمرکز ساخته و آتش تهیه کرده بود.»

گمان میکنم خوانندگان مایل باشند بدانند که چرا باید فضای میان دو شیشهٔ ساعت را از آب پر کرد، مگر عدسی محدب‌الطرفینی که توی آن پر از هوا باشد، اشعه را متمرکز نمیکند؟

خیر، متمرکز نمیکند. شیشهٔ ساعت به دو سطح موازی (متحدالمرکز) — سطح خارجی و سطح داخلی — محدود میشود. طبق قوانین فیزیک معلوم است که اشعهٔ نور وقتی از محیطی که به اینگونه سطوح محدود باشد بگذرند، سمت آنها تقریباً تغییر نمیکند. و سپس وقتی از شیشهٔ دوم نظیر شیشه اول بگذرند، باز هم سمت آنها تغییر نمیکند و در نتیجه اشعه در کانون عدسی متمرکز نمیشوند. برای آنکه اشعه در یک نقطه متمرکز بشوند، باید فضای میان دو شیشه را از جسم شفافی پر کرد که اشعهٔ نور را بیش از هوا منکسر کند. در رمان ژول ورن مهندس همین کار را کرد.

یک تنگ پر آب هم اگر کروی شکل باشد، میتوان از آن مانند ذره‌بین برای روشن کردن آتش استفاده کرد. این پدیده را در دوران قدیم نیز میدانستند و بعلاوه دیده بودند که خود آب در این مورد گرم نمیشود. حتی گاهی اتفاق افتاده است که تنگ پر آبی که جلو پنجره باز قرار داشته، پرده یا رومیزی را سوزانده و میز را سیاه و زغال کرده است. بطری‌های بزرگ پر از آب رنگینی که سابقاً برای زینت پشت ویترین دواخانه‌ها میگذاشتند، گاهی سبب آتش گرفتن مواد سریع‌الاحتراق اطراف خود میشدند و سانحه‌های واقعی بوجود میآوردند.

با یک قرع نسبتاً کوچک پر از آب میتوان آبی را که روی سینی ... ریخته باشیم، جوش آورد. برای این کار کافی است که قطر ... حدود ۱۲ سانتیمتر باشد. اگر قطر قرع ۱۵ سانتیمتر باشد، در کانون* آن حرارت به ۲۰ درجه میرسد. آتش زدن سیگار با قرع پر از آب همانقدر آسان است که آتش زدن سیگار با ... بین. ... نوسوف در شعری که بنام «فایدهٔ شیشه» سروده است، در بارهٔ ذره‌بین میگوید:

پرتو خورشید را با سینه ... آرد
از پروست گرچه تقلید است، اما باشاد
ز آسمان آتش به دست آریم و زان سیگار خویشتن
شعله‌ور سازیم آسان، بی خیال و بی ...

---

*در اینصورت کانون قرع بسیار به قرع نزدیک است.

یاوه گویان و ریاکاران بد کردار را
بی محابا پرده برداریم از روی سیاه.

اما باید یادآور شد که قدرت احتراق عدسی‌های آبی بمراتب از قدرت احتراق عدسی‌های شیشه‌ای کمتر است. علت این امر آنستکه: اولا — انکسار نور در آب بمراتب از انکسار نور در شیشه کمتر است، ثانیاً — آب بمیزان زیادی اشعه مادون قرمز را که در گرم کردن اجسام نقش بزرگ دارند، به خود جذب میکند.

جالب استکه یونانیان باستان بیش از هزار سال قبل از اختراع عینک و دوربین از قدرت احتراق عدسی‌های شیشه‌ای آگاهی داشتند. آریستوفان در کمدی معروف «ابرها» به این مسأله اشاره میکند. سقراط به استرپ‌تی‌آد یک مسأله میدهد:

«اگر کسی برای تو التزام‌نامه‌ای به مبلغ پنج تالانت* می‌نوشت، تو آن التزام‌نامه را چطور نابود میکردی؟

استرپ‌تی‌آد — من وسیله نابود کردن التزام‌نامه را پیدا کرده‌ام، ضمناً چنان وسیله‌ای که خود تو هم آن را محیلانه‌ترین وسیله میشماری! البته در دواخانه‌ها سنگ بی‌نظیر و شفافی را که با آن آتش روشن میکنند، دیده‌ای؟

سقراط — عدسی؟

استرپ‌تی‌آد — کاملا درست است.

سقراط — خوب، بعد چی؟

استرپ‌تی‌آد — وقتی محضردار مشغول نوشتن است، پشت سرش می‌ایستم و اشعهٔ خورشید را روی التزام‌نامه می‌اندازم و همهٔ کلمات را ذوب میکنم...»

برای روشن شدن مطلب یادآوری میکنیم که یونانیان دوران آریستوفان روی لوحه‌های سوم‌اندودی مینوشتند که در اثر حرارت به آسانی ذوب میشد.

چطور میشود با یخ آتش روشن کرد؟

از یخ هم، اگر بحد کافی شفاف باشد، میتوان عدسی محدب الطرفین ساخت و با آن آتش روشن کرد. ضمناً یخ که در اینصورت اشعه را منکسر میکند، خودش گرم نمیگردد و آب نمیشود. ضریب انکسار یخ فقط قدری کمتر از ضریب انکسار آب است و بطوری که میدانیم، بوسیله کره شیشه‌ای پر از آب میتوان آتش روشن کرد، پس بوسیله عدسی یخی نیز میتوان این کار را انجام داد.

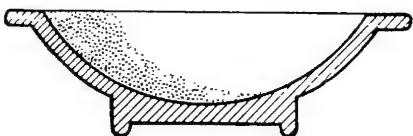
در رمان ژول ورن «مسافرت کاپیتان گاتراس» عدسی یخی خدمت بزرگی انجام داد. وقتی مسافران در سرمای وحشتناک ۴۸ درجه بدون آتش ماندند و چخماق را هم گم کرده بودند، دکتر کلوئوبونی همانا به این وسیله آتش روشن کرد.

«گاتراس به دکتر گفت:

---

*تالانت (talent) واحد وزن و پول در یونان قدیم (مترجم).

— این بدبختی است.
دکتر جواب داد: بله.
— ما حتی دوربین هم نداریم که عدسی آن را در بیاوریم و آتش روشن کنیم.
دکتر گفت:
— میدانم و بسیار متأسفم که دوربین نداریم. اشعهٔ خورشید بقدر کافی قوی هستند که بتوانند فتیله آتش‌زنه را روشن کنند.
گاتراس گفت:
— چه میتوان کرد، مجبوریم با گوشت نپخته خرس رفع گرسنگی بکنیم.
دکتر به فکر فرو رفت و گفت:
— بله، حالا که دستمان از همه جا کوتاه شده... اما چرا ما...
گاتراس با کنجکاوی پرسید:
— به چه فکری افتاده اید؟
— یک فکری به مغزم رسیده است که...
ناواستوار ندا بر آورد:
— فکر! اگر فکری به مغز شما رسیده است. پس ما نجات یافته‌ایم!
دکتر با شک و تردید گفت:
— اما نمیدانم موفق میشوم یا نه.
گاتراس پرسید:
— چه نقشه‌ای کشیده‌اید؟
— ما عدسی نداریم، اما میتوانیم بسازیم.
ناواستوار پرسید: «چطور»؟
— یک تکه یخ را صاف میکنیم و از آن عدسی میسازیم.
— واقعاً شما گمان میکنید که...
— چرا گمان نکنم؟ آخر فقط لازم است که اشعه خورشید در یک نقطه گرد بیایند، و برای این منظور میتوانیم از یخ مثل بهترین بلور استفاده کنیم. اما اگر یک تکه یخ آب شیرین باشد بهتر است، چون یخ آب شیرین محکم‌تر و شفاف‌تر است.
ناواستوار قطعه یخ بزرگی را که در صد قدمی مسافران بود نشان داد و گفت:
— اگر اشتباه نکنم این قطعه یخ، بطوریکه از رنگش معلوم میشود، درست همان چیزی است که برای ما لازم است.
— حق با شماست. تبرتان را بردارید، ببینم. برویم، دوستان عزیز!
هر سه نفر به طرف قطعه یخ راه افتادند. معلوم شد که یخ واقعاً یخ آب شیرین است.
دکتر دستور داد از قطعه یخ یک تکه به قطر یک پا بشکنند و خودش با تبر و بعد با کارد آن را صاف کرد و بالاخره با دست آن‌را صیقل داد. عدسی شفافی که گوئی از بهترین بلور ساخته شده بود، از آب درآمد. نور خورشید بحد کافی زیاد بود: دکتر عدسی را زیر اشعه خورشید نگاه داشت و اشعه را روی فتیله آتش‌زنه متمرکز کرد. پس از چند ثانیه فتیله آتش



شکل ۱۱۴ — جام برای ساختن عدسی یخی.



شکل ۱۱۳ — «دکتر اشعه خورشید را روی فتیله آتش‌زنه متمرکز کرد».

آنچه ژول ورن در این حکایت نقل کرده است زیاد فانتاستیک نیست. آزمایش آتش زدن چوب بوسیله عدسی یخی را برای نخستین بار در سال ۱۷۶۳ در انگلستان با یک عدسی فوق‌العاده بزرگ با موفقیت انجام دادند و پس از آن نیز بارها این آزمایش با موفقیت تمام انجام شده است. البته ساختن عدسی یخی شفاف با ابزارهائی مانند تبر و کارد و «دست خالی» کار دشواری است، آنهم در سرمای ۴۸ درجه! اما عدسی یخی را میتوان بوسیله ساده‌تری تهیه کرد: باید آب را در ظرفی که شکل لازم را داشته باشد، ریخت و گذاشت تا یخ ببندد، بعد ظرف را کمی گرم کرد و عدسی یخی حاضر و آماده را از آن بیرون آورد.

اگر خواستید چنین بکنید، بیاد داشته باشید که فقط در روز یخ‌بندان بدون ابر و مه و در هوای آزاد میتوان آن را با موفقیت انجام داد، نه در اطاق و پشت شیشهٔ پنجره، زیرا شیشه قسمت زیادی از انرژی اشعهٔ خورشید را جذب میکند و آنچه باقی میماند برای تولید حرارت زیاد کافی نیست.

به کمک اشعهٔ خورشید

یک آزمایش دیگر هم که در زمستان به آسانی میتوان آن را انجام داد، بکنید. روی برفی که اشعه خورشید به آن میتابد، دو تکه پارچهٔ مساوی — یکی به رنگ روشن و دیگری سیاه — بگذارید. پس از یکی دو ساعت میبینید که پارچهٔ سیاه توی برف فرو رفته، در حالیکه پارچهٔ سفید همان جائی که بوده، مانده است. پی بردن به علت این تفاوت کار دشواری نیست: برف زیر پارچهٔ سیاه بیشتر آب میشود، زیرا پارچهٔ سیاه قسمت اعظم اشعهٔ خورشید را که به آن میتابد، جذب میکند،

پارچهٔ سفید، بر عکس، قسمت اعظم اشعه را منعکس و پخش میکند و به این دلیل کمتر از پارچهٔ سیاه گرم میشود.

این آزمایش آموزنده را برای نخستین بار بینامین فرانکلین مبا ز شهیر راه استقلال ایالات متحده امریکا و کسی که با اختراع برق‌گیر خود را بعنوان یک فیزیسین جاویدان ساخت، انجام داده است. خودش مینویسد: «من از خیاط چند تکه ماهوت به رنگ‌های مختلف گرفتم. این پارچه‌ها سیاه، سورمه‌ای، آبی آسمانی، سبز، ارغوانی، سرخ، سفید و به رنگ‌های مختلف دیگر بودند. صبح یک روز آفتابی همهٔ این تکه‌های پارچه را روی برف گذاشتم. پس از چند ساعت تکهٔ پارچهٔ سیاه که بیش از سایرین گرم شده بود بقدری توی برف فرو رفته بود که دیگر اشعهٔ خورشید به آن نمیرسید. پارچهٔ سورمه‌ای نیز تقریباً به اندازه پارچهٔ سیاه، اما پارچهٔ آبی آسمانی بمراتب کمتر از آنها فرو رفته بود. سایر پارچه‌ها به همان نسبت که روشن‌تر بودند، کمتر فرو رفته بودند. پارچهٔ سفید روی برف مانده بود، یعنی اصلا فرو نرفته بود».

بنیامین فرانکلین میپرسد: «اگر از تئوری هیچ سودی نمیتوان حاصل کرد، پس این تئوری به چه درد میخورد؟» و ادامه میدهد: «مگر ما نمیتوانیم از این آزمایش نتیجه بگیریم که در مناطق گرمسیر و آفتابی لباس سفید از لباس سیاه مناسب‌تر است، زیرا لباس سیاه توی آفتاب بدن ما را بیشتر گرم میکند و اگر در این وضع حرکت هم بکنیم، که خود آن حرکت نیز در بدن ما تولید حرارت میکند، حرارت بیش از حد بوجود می‌آید؟ مگر کلاههای تابستانی مردانه و زنانه نباید سفید باشندتا حرارتی را که باعث آفتاب زدگی در برخی میشود، بر طرف کنند؟... علاوه براین، مگر دیوارهای سیاه نمیتوانند در طی روز آنقدر حرارت آفتاب را جذب کنند که شب تا حدودی گرم بمانند و میوه‌ها را از سرما حفظ کنند؟ مگر ممکن نیست که یک ناظر تیزبین با مسائل کم و بیش مهم دیگر از این نوع برخورد کند؟»

واقعه کشتی هائوس که در سال ۱۹۰۳ یک هیأت علمی آلمانی با آن به قطب جنوب رفته بودند، نشان میدهد که از این پدیده چه نتایج سودمندی میتوان گرفت و چگونه میتوان آن را به کار برد. کشتی در یخ گیر کرده بود و کلیهٔ وسائل معمولی بیرون آوردن کشتی‌ها از میان یخ بی نتیجه مانده بود. با مواد منفجره و اره‌های یخ‌بری توانستند فقط چند صد متر مکعب یخ را بکنند، اما نتوانستند کشتی را در بیاورند. آنوقت به اشعه خورشید متوسل شدند: میان کشتی و نزدیکترین شکاف بزرگی که در یخ بود، با خاکستر تیره رنگ و زغال راهی به طول دو کیلومتر و به عرض ده متر کشیدند. روزهای بلند و آفتابی تابستان قطبی بود و اشعهٔ خورشید کاری را که مواد منفجره و اره‌های یخ‌بری قادر به انجام آن نبودند، انجام دادند. در تمام طول این راهی که کشیده بودند، یخ آب شد و شکست و کشتی از اسارت یخ رهائی یافت.

دانستنی‌های کهنه و نو در باره سراب

لابد همه میدانند که علت فیزیکی سراب معمولی چیست. شن صحرا در پرتو آفتاب سوزان داغ میشود و خصوصیت آئینه پیدا میکند، زیرا تراکم طبقهٔ هوای مجاور شن از تراکم طبقات هوای بالای آن کمتر است. شعاع مایل نور از جسمی که در فاصلهٔ زیادی واقع است، وقتی به این طبقهٔ هوا میرسد، راه خود را در آن طوری کج میکند که پس از آن از زمین دور میشود و طوری به چشم

آدم میتابد که گوئی با زاویه تابش بسیار بزرگی در آئینه منعکس شده است و آدم تصور میکند که در صحرا سطح آئینه مانند آبی را می‌بیند که اجسام نزدیک ساحل در آن منعکس شده‌اند (شکل ۱۱۵).

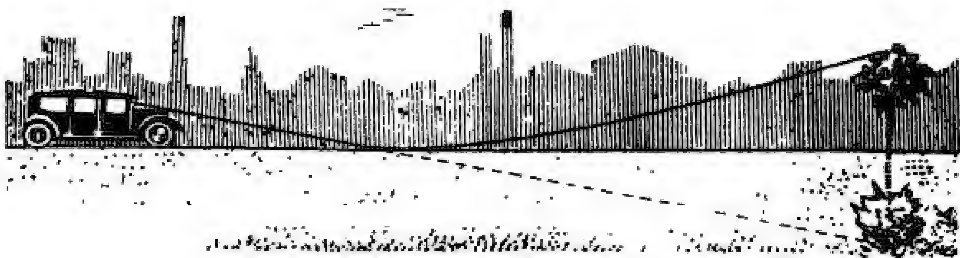
اما صحیح‌تر است اگر بگوئیم که طبقهٔ هوای گرم نزدیک شن داغ اشعه را مانند آئینه منعکس نمیکند، بلکه مانند سطح آبی منعکس میکند که از زیر آب به آن نگاه کنند. در اینجا انعکاس ساده صورت نمیگیرد، بلکه انعکاسی صورت میگیرد که در فیزیک «انعکاس داخلی» نامیده میشود. برای این کار باید شعاع نور با زاویهٔ بسیار کوچکی، با زاویه‌ای بمراتب کوچکتر از آنچه در شکل ۱۱۵ بطور ساده نشان داده شده است، داخل طبقهٔ هوا بشود. در غیر اینصورت زاویهٔ تابش شعاع از «زاویهٔ حد» (کوچکترین زاویه تابش) نخواهد گذشت، و بدون آن انعکاس داخلی صورت نمیگیرد.

ضمناً قسمتی از این تئوری را که ممکن است باعث سوء تفاهم بشود، توضیح میدهیم. برای آنکه پدیده به صورتی که در بالا توضیح داده شد صورت بگیرد، باید طبقاتی از هوا که تراکم آنها بیشتر است بالای طبقاتی که تراکم آنها کمتر است واقع شوند. اما ما میدانیم که هوای متراکم سنگین همیشه پائین می‌آید و بر هوای سبکی که در زیر آن است فشار می‌آورد و جای آن را میگیرد. پس چگونه ممکن است طبقات متراکم و رقیق هوا طوری روی یکدیگر قرار بگیرند که برای پیدایش سراب لازم است؟

کلید حل این معما در آنستکه طبقات هوائی که بطور لازم برای پیدایش سراب روی یکدیگر قرار گرفته‌اند، از هوای ساکن تشکیل نشده‌اند، بلکه از هوائی تشکیل شده‌اند که در حال حرکت میباشد. طبقهٔ هوائی که بوسیلهٔ شن گرم میشود روی زمین باقی نمیماند، بلکه بطور مداوم بالا میرود و طبقهٔ هوای دیگری که جای آن را میگیرد، فوراً گرم میشود. این تغییر مداوم سبب میشود که همیشه یک طبقه هوای رقیق در مجاورت شن داغ قرار داشته باشد، البته در هر لحظه هوا آن هوای لحظه پیش نیست، اما این امر برای سمت حرکت اشعه تفاوتی ندارد.



شکل ۱۱۵ — چگونه در صحرا سراب پدید می‌آید. این شکل که معمولا در کتاب‌های درسی چاپ میشود، راه شعاع نور مایل به طرف زمین را با شیب به مراتب بیشتری نشان میدهد.



شکل ۱۱۶ — سراب در جاده قیرریزی شده.

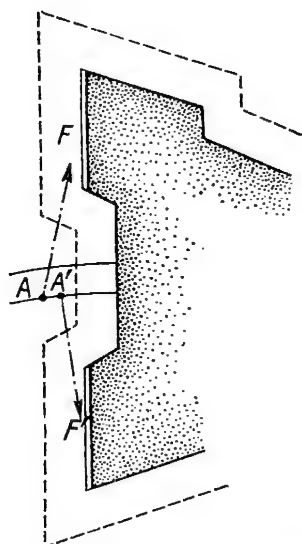
این نوع سراب که مورد بررسی ما است، از دوران بسیار قدیم معلوم بوده است. در هواشناسی معاصر این نوع سراب را سراب «پائینی» مینامند (سراب دیگری که در نتیجهٔ انعکاس اشعهٔ نور در طبقات هوای رقیق قسمت‌های فوقانی جو پدید می‌آید، سراب «بالائی» نام دارد). اکثریت مردم معتقدند که سراب معمولی فقط در هوای گرم و سوزان صحاری جنوبی ممکن است پدید آید و در عرض‌های جغرافیائی شمالی تر هرگز پدید نمی‌آید. در صورتیکه سراب پائینی در مناطق معتدله نیز دیده میشود. این پدیده بخصوص تابستان در جاده‌های آسفالته و قیرریزی‌شده زیاد به چشم میخورد، زیرا این جاده‌ها به علت رنگ تیره‌ای که دارند، در زیر اشعهٔ خورشید خیلی گرم میشوند. در این موارد ازدور بنظر می‌آید که گوئی سطح تارجاده از آب پوشیده شده و برخی چیزها در آن منعکس میگردد. سمت حرکت اشعهٔ نور در این نوع سراب‌ها در شکل ۱۱۶ نشان داده شده است. اگر قدری توجه داشته باشیم اینگونه پدیده‌ها را بمراتب بیش از آنچه معمولا فکر میکنند، میتوان مشاهده کرد.

یک نوع سراب‌دیگر هم هست که سراب پهلوئی نام دارد و معمولا مردم حتی تصور نمیکنند که چنین سرابی وجود داشته باشد. این نوع سراب در نتیجهٔ انعکاس در دیوار عمودی که گرم شده باشد، پدید می‌آید. یکی از مؤلفین فرانسوی این پدیده را توصیف کرده است. وقتی به دژی نزدیک میشد، دید که دیوار بتنی صاف برج ناگهان مانند آئینه به درخشش درآمد و منظره و زمین اطراف و آسمان در آن منعکس شد. چند گام دیگر به پیش رفت و همین تغییر را در دیوار دیگر برج دید. بنظر می‌آمد که گوئی سطح خاکستری رنگ و ناهموار دیوار ناگهان به سطح صیقلی‌شده‌ای تبدیل میگردد. یک روز بسیار گرم و آفتابی بود و دیوارها میبایست سخت داغ شده باشند، وکلید حل معمای آئینه‌مانند شدن دیوارها نیز در همین داغ شدن بود. در شکل ۱۱۷ دیوارهای برج (F و F′) و محل مشاهده کننده (A و A′) نشان داده شده است. معلوم شد هر بار که دیوار بحد کافی از اشعهٔ خورشید گرم میشد، سراب هم به چشم میخورد. او حتی توانست از این پدیده عکس بردارد.

در شکل ۱۱۸ دیوار F برج ابتدا تار (سمت چپ) و سپس مانند آئینه براق (سمت راست) نشان

داده شده است (در هر دو بار از نقطهٔ ′A عکس برداری کرده اند). در عکس سمت چپ بتن معمولی خاکستری رنگ است که البته دو نفر سربازی که نزدیک دیوار ایستاده‌اند، ممکن نیست در آن منعکس بشوند. در سمت راست قسمت اعظم همان دیوار خصوصیت آئینه پیدا کرده و عکس قرینهٔ هیکل سرباز نزدیک دیوار در آن منعکس شده است. البته در اینجا خود سطح دیوار اشعه‌را منعکس نمیکند، بلکه فقط قشر هوای گرم مجاور دیوار منعکس میکند.

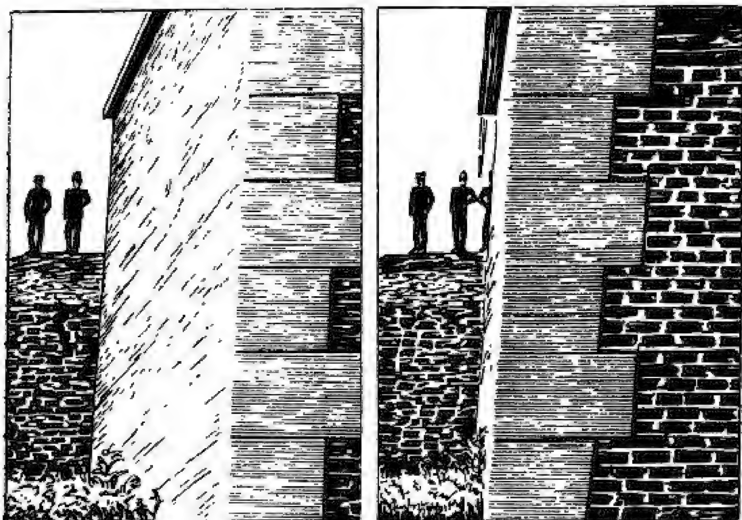
باید در روزهای گرم و آفتابی تابستان به دیوارهای بناهای بزرگ، که داغ شده‌اند، توجه کرد و دید که آیا پدیدهٔ سراب به چشم نمیخورد. بدون شک با قدری توجه موارد به چشم خوردن سراب باید افزایش یابد.



شکل ۱۱۷— نقشه برجی که در آن سراب مشاهده شده است. دیوار F از نقطه A و دیوار ′F از نقطه ′A آئینه مانند بنظر آمده بود.

«شعاع سبز»

«آیا هرگز خورشید را وقتی در افق دریا غروب میکند، مشاهده کرده‌اید؟ بدون شک، بله. آیا خورشید را تا لحظه‌ای که انتهای بالائی قرص آن با خط افق تماس می‌یابد و سپس ناپدید میشود، با چشم تعقیب کرده‌اید؟ لابد، بله. اما آیا دیده‌اید که وقتی خورشید جهان افروز آخرین پرتو خود را میپراکند، اگر در آن لحظه آسمان کاملا شفاف و بی ابر باشد، چه پدیده‌ای روی میدهد؟ شاید،



شکل ۱۱۸ — دیوار خاکستری‌رنگ ناصاف (سمت چپ) ناگهان گوئی صیقلی شده و اجسام در آن منعکس میگردند (سمت راست).

نه. اگر امکانی برایتان پیش آمد که این پدیده را مشاهده کنید، فرصت را از دست ندهید: شعاع سرخ به چشم شما نمیخورد، بلکه شعاع سبز به چشمتان میخورد، چنان شعاع سبز رنگ شگفت‌آوری که هیچ نقاشی نمیتواند در تختهٔ رنگ‌آمیزی خویش بیابد و حتی خود طبیعت قادر نیست نظیر آن را، نه در رنگ‌های گوناگون گیاهان و نه در رنگ شفاف‌ترین دریاها، بوجود آورد».

این یادداشت که در یکی از روزنامه‌های انگلستان به چاپ رسیده بود، دوشیزه قهرمان رمان ژول ورن «شعاع سبز» را به وجد و شعف آورد و وی را برانگیخت تا فقط و فقط برای آنکه شعاع سبزرا با چشم خویش ببیند، مسافرت‌های زیادی بکند. بطوریکه ژول ورن در رمان خود می‌نویسد، دوشیزه اسکاتلندی موفق نشد این پدیدهٔ زیبای طبیعت را مشاهده کند. اما با همهٔ اینها، این پدیده روی میدهد. با اینکه حوادث افسانوی زیادی را با شعاع سبز مربوط میکنند، شعاع سبز افسانه نیست. شعاع سبز پدیده‌ای است که هر شخص دوستدار طبیعت را واله و شیفته میسازد، فقط باید آن را با صبر و حوصله لازم جستجو کرد.

چرا شعاع سبز پدید می‌آید؟

اگر به یاد بیاورید که وقتی از پشت منشور شیشه‌ای به اجسام نگاه میکنیم، اجسام به چه صورتی بنظر ما می‌آیند، آنوقت دلیل این پدیده را می‌فهمید. آزمایش زیر را انجام بدهید: یک ورق کاغذ را به دیوار بچسبانید، یک منشور را افقی، طوریکه سطح پهن آن به پائین باشد، جلو چشمتان بگیرید و از پشت آن به صفحهٔ کاغذ نگاه کنید. مشاهده خواهید کرد که اولا — صفحهٔ کاغذ از جای واقعی خود خیلی بالاتر رفته است، ثانیاً — در بالای آن یک حاشیهٔ بنفش مایل به آبی و در پائین آن یک حاشیهٔ زرد مایل به سرخ دیده میشود. علت بالا رفتن صفحهٔ کاغذ انکسار نور است، و پیدایش حاشیه‌ها مربوط به تجزیه نور سفید بوسیلهٔ شیشه، یعنی خصوصیت شیشه میباشد که اشعه رنگ‌های مختلف را بطور یکسان منکسر نمیکند. اشعهٔ بنفش و آبی بیش از سایر رنگ‌ها منکسر میشوند و بهمین دلیل در بالا یک حاشیهٔ بنفش مایل به آبی می‌بینیم. اشعهٔ سرخ کمتر از همه منکسر میشوند و بهمین دلیل حاشیهٔ پائینی کاغذ سرخ بنظر می‌آید.

برای درک بهتر مطالب بعدی لازم است علت پیدایش این حاشیه‌های رنگی‌را قدری توضیح داد. منشور نور سفیدی را که از کاغذ میتابد، به همهٔ رنگ‌های طیف تجزیه میکند و از صفحهٔ کاغذ تعداد زیادی عکس رنگی پدید می‌آورد که بترتیب میزان انکسار قرار دارند و قسمتی از هر یک از آنها روی دیگری واقع میشود. چشم در نتیجهٔ تأثیر هم‌زمان این عکس‌های رنگی که روی یکدیگر واقع شده‌اند، نور سفید حس میکند (ترکیب رنگ‌های طیفی)، اما در بالا و در پائین دو حاشیه از رنگ‌هائی که ترکیب نشده‌اند، پدید می‌آید. گوته شاعر نامدار آلمانی که این آزمایش را کرده و به ماهیت آن پی نبرده بود، تصور کرد که به این طریق نادرستی تعلیمات نیوتن در باره رنگ‌ها را فاش ساخته است و خودش کتاب «علم رنگ‌ها» را نوشت، که تقریباً از سر تا ته بر تصورات نادرست پایه‌گذاری شده است. گمان میکنم خوانندهٔ ما اشتباهات شاعر بزرگ را تکرار نخواهد کرد و انتظار نخواهد داشت که منشور همه چیز را برایش به رنگ دیگری در آورد. جو زمین برای چشم ما مانند منشور هوائی عظیمی است که قاعدهٔ آن رو به پائین است. وقتی خورشید در افق است و ما به آن نگاه میکنیم، خورشید را از پشت منشور هوائی می‌بینیم در بالای قرص خورشید یک حاشیهٔ آبی و سبز و در پائین آن یک حاشیهٔ سرخ مایل به زرد پدید

می‌آید. تا وقتی که خورشید بر فراز افق قرار دارد، نور شدید قرص خورشید حاشیه‌های رنگی بمراتب کم‌نورتر را از بین می‌برد و ما آنها را اصلا نمی‌بینیم. اما در لحظهٔ طلوع و غروب خورشید، وقتی تقریباً تمام قرص خورشید در پشت افق پنهان است، ممکن است حاشیه آبی انتهای بالائی آن را ببینیم. این حاشیه از دو قسمت تشکیل شده است: قسمت بالائی آبی نزدیک به سورمه‌ای و قسمت پائینی آبی نزدیک به آسمانی است که از ترکیب اشعهٔ آبی و سبز بوجود آمده است. وقتی هوای نزدیک افق کاملا صاف و شفاف است، ما حاشیهٔ آبی — «شعاع آبی» را می‌بینیم. اما اغلب اوقات اشعهٔ آبی در هوای جو پراکنده میشوند و فقط حاشیهٔ سبز باقی میماند که همان پدیده «شعاع سبز» است. بالاخره باید یاد آور شد که در اکثر موارد هم اشعهٔ آبی و هم اشعهٔ سبز در هوای تار پراکنده میشوند و آنوقت هیچ حاشیه‌ای دیده نمیشود و خورشید به صورت قرص سرخ‌رنگی در افق فرو میرود.

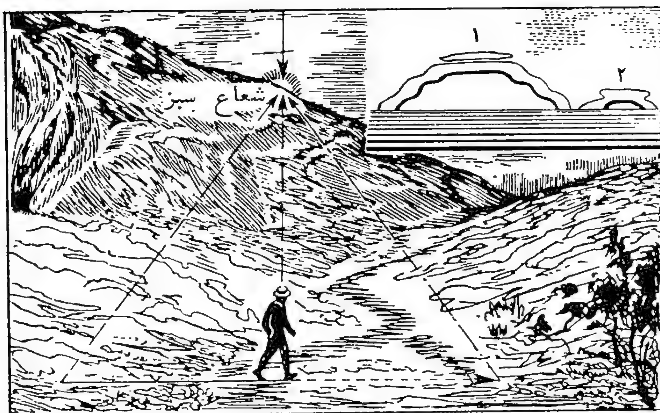
تیخوف منجم رصدخانهٔ «پولکوفسکایا»* که در بارهٔ «شعاع سبز» تحقیقات ویژه‌ای کرده است، برخی نشانه‌های نمایان شدن این پدیده را یاد آور میشود: «اگر خورشید هنگام غروب سرخ‌رنگ باشد و بتوان با چشم غیر مسلح به راحتی به آن نگاه کرد، میتوان با اطمینان کامل گفت که شعاع سبز پدید نخواهد آمد». علت روشن است: رنگ سرخ قرص خورشید نشان میدهد که هوای جو اشعهٔ آبی و سبز، یعنی تمام حاشیه بالائی قرص خورشید را بشدت پراکنده میکند. تیخوف ادامه میدهد: «بر عکس، اگر رنگ معمولی سفید مایل به زرد خورشید تغییر نکرده و خورشید با نور زیاد غروب کند (یعنی اگر هوای جو نور را کم جذب کند. — پرلمان)، آنوقت به احتمال قوی میتوان انتظار داشت که شعاع سبز پدید آید. اما در این مورد بسیار مهم است که افق یک خط مشخص و بدون پست و بلندی باشد و در نزدیک آن جنگل و بنا و برجستگی‌های دیگر وجود نداشته باشد. این شرایط در دریا بهتر از هر جای دیگر فراهم می‌آید. بهمین دلیل است که دریانوردان از پدیده شعاع سبز آگاهی زیادی دارند».

بدین ترتیب، برای آنکه «شعاع سبز» را ببینیم باید وقتی که آسمان کاملا صاف و شفاف است، در لحظهٔ غروب یا طلوع خورشید به آن نگاه کنیم. در کشورهای جنوبی آسمان در افق شفاف‌تر از نواحی ما است، به این دلیل پدیده «شعاع سبز» در جنوب بیشتر مشاهده میشود. اما در نواحی ما نیز این پدیده آنقدرها که عده زیادی، لابد تحت تأثیر رومان ژول ورن، تصور میکنند، نادر نیست. کسی که با پشتکار برای مشاهدهٔ «شعاع سبز» بکوشد، دیر یا زود شاهد پیروزی را در بر میگیرد. اتفاق افتاده است که موفق شده‌اند این پدیدهٔ زیبا را حتی با دوربین مشاهده کنند. دو نفر منجم آلزاسی مشاهدات خود را چنین توصیف میکنند:

«...در آخرین دقیقه پیش از غروب آفتاب وقتی که هنوز قسمتی از خورشید نمایان است، قرص خورشید را که حدود مواج و متحرک، اما کاملا مشخص دارد، حاشیهٔ سبزی احاطه کرده است. تا وقتی که خورشید هنوز کاملا غروب نکرده است، این حاشیه با چشم غیر مسلح دیده نمیشود، فقط در لحظه‌ای که خورشید کاملا درافق ناپدید میشود، این حاشیه را میتوان دید. اما اگر با دوربینی که بحد کافی (تقریباً ۱۰۰ بار) بزرگ میکند، نگاه کنیم، میتوانیم تمام این پدیده را از اول تا آخر ببینیم: حاشیهٔ سبز حد اقل ۱۰ دقیقه پیش از غروب آفتاب قابل رؤیت میشود. این حاشیه

---

*رصدخانه «پولکوفسکایا»، رصدخانه‌ای است در نزدیک لنینگراد که معروفیت جهانی دارد (مترجم).



شکل ۱۱۹ — مشاهده «شعاع سبز» در مدت زیاد. مشاهده‌کننده طی ۵ دقیقه «شعاع سبز» را در پشت رشته کوهها میدید. در بالا سمت راست، «شعاع سبز» قابل رؤیت با دوربین. محیط قرص خورشید خط منحنی صاف نیست. در حالت (۱) نور قرص خورشید چشم را خیره میکند و مانع میشود که بتوان حاشیه سبز را با چشم غیر مسلح دید. در حالت (۲) وقتی قرص خورشید در شرف ناپدید شدن است، «شعاع سبز» با چشم غیر مسلح هم قابل رؤیت است.

قسمت بالائی قرص خورشید را در بر میگیرد، اما در قسمت پائینی قرص خورشید حاشیهٔ سرخی دیده میشود. عرض حاشیهٔ سبز در ابتدا بسیار کم (فقط چند ثانیه قوس) میباشد و بتدریج که خورشید پائین میرود، زیادتر میشود، و گاهی تا نیم درجه قوس میرسد. اغلب در بالای حاشیهٔ سبز برجستگی‌های سبزی نیز دیده میشود و بتدریج که خورشید ناپدید میشود گوئی این برجستگی ها در کنارهٔ قرص خورشید سر میخورند تا به بالاترین نقطه آن میرسند. گاهی برجستگی‌ها از کنارهٔ خورشید جدا میشوند و چند ثانیه جداگانه میدرخشند تا خاموش می شوند» (شکل ۱۱۹).

پدیدهٔ شعاع سبز یکی دو ثانیه طول میکشد. اما در شرایط استثنائی مدت آن بمیزان قابل ملاحظه ای افزایش می‌یابد. مواردی بوده است که «شعاع سبز» در مدت بیش از ۵ دقیقه دیده میشده است! خورشید در پشت کوه دوردستی غروب کرده و شخصی که بسرعت گام بر میداشته، حاشیهٔ سبز قرص خورشید را در حالیکه گوئی از دامنهٔ کوه به پائین میخزیده، مشاهده میکرده است (شکل ۱۱۹). مشاهده پدیده «شعاع سبز» هنگام طلوع آفتاب وقتی که انتهای بالائی قرص خورشید تازه از افق بیرون می‌آید، بسیار آموزنده است. فرضیه‌ای وجود دارد که گویا «شعاع سبز» خطای باصره است ـ در اثر خستگی چشم از نور خورشید که در همان لحظه غروب کرده است، بوجود می‌آید. مشاهدهٔ «شعاع سبز» هنگام طلوع آفتاب این فرضیه را رد میکند.

خورشید یگانه جرم آسمانی نیست که «شعاع سبز» میپراکند. مواردی بوده است که این پدیده هنگام فرو رفتن زهره در افق نیز مشاهده شده است.

فصل نهم

دیدن با یک چشم و با دو چشم

وقتی عکس نبود

عکس در زندگی روزانهٔ ما بقدری عادی شده است که تصور هم نمیکنیم نیاکان ما، حتی نیاکان نه چندان دور، چگونه بدون عکس گذران میکردند. دیکنس در «نشریهٔ باشگاه پیکویک» از اینکه در حدود صد سال پیش در ادارات دولتی انگلستان شکل ظاهری اشخاص را چگونه تصویر میکردند، حکایت جالبی نقل میکند. جریان در زندان بدهکاران که پیکویک را بآنجا آوردند رخ داد: به پیکویک گفتند بنشیند تا تصویرش را بکشند.

«مستر پیکویک ندا برآورد:

— تصویر مرا بکشند!

زندانبان تنومند جواب داد:

— قیافه و مشخصات شما را، سر. شما باید اطلاع داشته باشید که ما در تصویر کشیدن استادیم. قبل از آنکه فرصت کنید سرتان را برگردانید، تصویرتان حاضر است. بفرمائید، بنشینید سر، خانهٔ خودتان است.

مستر پیکویک اطاعت کرد و نشست. آنوقت ساموئل (نوکر پیکویک) در گوشش آهسته گفت که در اینجا باید عبارت «تصویر کشیدن» را بمعنای مجازی آن فهمید و ادامه داد:

— این به آن معنا است که زندانبانان در صورت شما دقیق میشوند تا بتوانند شما را از کسانی که به دیدن زندانیان می‌آیند، تمیز بدهند.

جریان عمل شروع شد. زندانبان تنومند با لاقیدی به صورت مستر پیکویک نگاه میکرد و در همین ضمن رفیقش رو بروی زندانی تازه وارد ایستاد و نگاه خودرا به صورت او دوخت. جنتلمن سومی درست جلو بینی مستر پیکویک ایستاد و با دقت هر چه بیشتر به بررسی مشخصات او پرداخت.

بالاخره تصویر کشیده شد و به مستر پیکویک گفتند که میتواند به زندان برود».

در زمان‌های پیش از جریان بالا شرح مشخصات اشخاص نقش اینگونه «تصویرها» را بازی میکرده است. بیاد دارید که در اثر پوشکین «بوریس گودونوف» گریگوری اتریپف را در فرمان تزار چگونه

توصیف کرده بودند. «قدش کوتاه است، سینه‌اش پهن و یک دستش کوتاه‌تر از دست دیگر است، چشمانش آبی و موهایش بور است، روی گونه اش یک زگیل و روی پیشانیش زگیل دیگری هست». در دوران ما بجای همه اینها یک عکس پیوست میکنند.

چه چیز را بسیاری از اشخاص بلد نیستند؟

عکاسی در سال‌های چهل قرن ۱۹ میلادی در روسیه رسوخ یافت و ابتدا به صورت عکاسی قدیمی معروف به «داگرتیپی»* یعنی عکس روی ورقه‌های فلزی بود. نقص عمدهٔ این نوع عکاسی آن بود که میبایست مدت زیادی — دهها دقیقه — جلو دوربین عکاسی بیحرکت ایستاد...

پروفسور وینبرگ فیزیسین لنینگرادی میگوید:

«پدربزرگ من برای آنکه عکس بگیرد، آنهم فقط یک عکس تکثیر نشده، مدت چهل دقیقه جلو دوربین عکاسی نشست!»

با وجود این امکان به دست آوردن تصویر بدون شرکت نقاش بقدری نو و حیرت‌آور مینمود که تودهٔ مردم خیلی دیر به این فکر عادت کردند. در یک مجلهٔ قدیمی روسی (سال ۱۸۴۰) در این مورد حادثه جالب و خنده‌داری حکایت شده است:

«هنوز هم عده زیادی نمیخواهند باور کنند که دوربین عکاسی خودش بتواند عکس بردارد. یک شخص بسیار محترم آمد تا یک عکس خود را سفارش بدهد. صاحب عکاسخانه اورا نشاند، شیشه و تخته را توی دوربین گذاشت، به ساعت خود نگاه کرد و بیرون رفت. تا وقتی صاحب عکاسخانه در اطاق بود، شخص محترم چنانکه گوئی میخکوب شده است، سر جایش نشسته بود. اما همینکه صاحب عکاسخانه از در بیرون رفت، آقائی که میل داشت عکس خودرا داشته باشد، لازم ندانست بیحرکت بنشیند، کمی انفیه کشید، دوربین عکاسی را از همه طرف تماشا کرد، چشمش را جلو شیشه دوربین گرفت، سرش‌را تکان داد و گفت: «عین شامورتی است» و در اطاق شروع به قدم زدن کرد.

صاحب عکاسخانه برگشت،دم در از تعجب خشکش زد و ندا برآورد:

— چکار دارید میکنید؟ مگر من به شما نگفتم که بی حرکت بنشینید و تکان نخورید!

— من که نشسته بودم. فقط وقتی شما رفتید برخاستم.

— همان وقتی که من رفتم باید می‌نشستید.

— چرا من باید بیخود و بیجهت بنشینم؟»

خوانندگان محترم گمان میکنند که حالا ما دیگر از این تصورات ساده‌لوحانه در باره عکاسی بری هستیم. اما در زمان ما هم هنوز اکثریت مردم با عکاسی و عکس کاملا دمساز نشده اند و کمتر کسی هست که بلد باشد عکس حاضر را تماشا کند. خیال میکنید اینجا چیزی نیست که بلد باشی یا نباشی: عکس‌را برمیداری و نگاه میکنی. اما این کار بهیچوجه آنقدرها هم که خیال میکنید ساده نیست. عکس از جملهٔ آن وسائل عادی زندگی است که با وجود اینکه فوق‌العاده متداول

---

*«داگرتیپی» مشتق از نام «داگر» مخترع این نوع عکاسی.

است، ما بلد نیستیم بطور باید و شاید آنهارا استعمال کنیم. اکثریت عکاسان حرفه‌ای و غیر حرفه‌ای عکس را درست آنطور که باید تماشا نمیکنند، مردم عادی که جای خود دارد. بیش از صد سال است که هنر عکاسی وجود دارد، اما با وجود این عده زیادی نمیدانند چطور باید عکس را تماشا کرد.

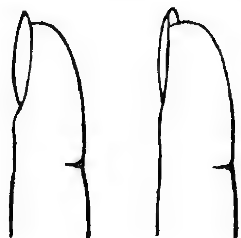
هنر تماشا کردن عکس

دوربین عکاسی از لحاظ طرز ساختمان مانند یک چشم بزرگ است. آنچه روی شیشهٔ مات نقش میشود، به فاصلهٔ میان ابژکتیف و اجسامی که از آنها عکس برداری میشود، بستگی دارد. دوربین عکاسی نمائی را روی صفحه ثبت میکند که اگر چشم ما (فقط یک چشم) در جای ابژکتیف بود، آن نمارا می‌دید. بنا بر این اگر میخواهیم که عکس همان تأثیری را در ما ببخشد که خود جسم می‌بخشد، باید:

۱— عکس را فقط با یک چشم تماشا کنیم،

۲— عکس را در فاصله لازم از چشم نگاه داریم.

به آسانی میتوان فهمید که وقتی ما عکس را با دو چشم نگاه میکنیم حتماً باید در برابر خود نمای مسطحی را ببینیم، نه تصویری را که عمق دارد. این امر نتیجه ضروری خصوصیات دستگاه بینائی ما است. وقتی به چیزی که حجم دارد نگاه میکنیم تصویرهائی که در شبکیهٔ چشمهای ما بوجود می‌آیند، عین یکدیگر نیستند: چشم راست عین آن چیزی را که چشم چپ می‌بیند، نمی‌بیند (شکل ۱۲۰). همین یکسان نبودن تصویرها، در واقع، دلیل عمدهٔ آنستکه اشیاء مجسم بنظر ما می‌آیند: شعور ما این دو تأثیر غیر یکسان را بصورت یک تصویر برجسته در هم می‌آمیزد (بطوری که معلوم است ساختمان استریوسکوپ بر همین اصل مبتنی است).[۱] اگر در برابر ما چیز مسطحی، مثلا سطح دیواری قرار داشته باشد، وضع دیگری‌است: در اینصورت در هر دو چشم ما تأثیرات کاملا یکسانی بوجود می‌آید، و این یکسان بودن برای شعور علامت مسطح بودن جسم است.



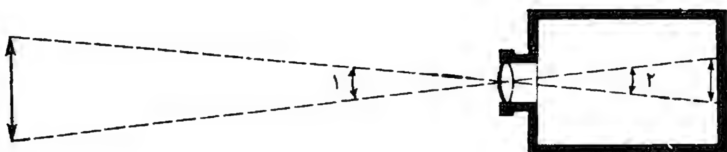
شکل ۱۲۰ — اگر دست‌را نزدیک به صورت نگاه داریم، چشم چپ و چشم راست انگشت را اینطور می‌بینند.

حالا روشن است که وقتی ما عکس را با دو چشم نگاه میکنیم، دچار چه اشتباهی میشویم. با این عمل به شعور خود اعتقاد به اینکه در برابر ما همانا نمای مسطحی قرار دارد، تحمیل میکنیم! وقتی با دو چشم به عکسی که برای فقط یک چشم در نظر گرفته شده، نگاه می‌کنیم، برای خودمان مانع فراهم می‌آوریم و آن چیزی را که عکس باید به ما بدهد، نمیبینیم، و در نتیجهٔ این خطا، تصویر فریبائی که دوربین عکاسی با چنان کمال بوجود آورده است، تمام فریبندگی خودرا از دست میدهد.

عکس را در چه فاصله‌ای باید نگاه داشت؟

قاعدهٔ دوم، یعنی اینکه عکس‌را در فاصله لازم از چشم نگاه داریم، نیز به همین اندازه اهمیت دارد: در صورت عدم رعایت فاصلهٔ لازم، منظره صحیح دیده نخواهد شد.

این فاصله چقدر باید باشد؟



شکل ۱۲۱^اــ در دوربین عکاسی زاویه (۱) با زاویه (۲) مساوی است.

برای آنکه عکس تأثیر کامل ببخشد باید آن را با همان زاویهٔ دیدی تماشا کرد که عدسی دوربین عکاسی آن را روی صفحهٔ مات دوربین و یا جسمی‌را که عکس آن برداشته شده «سیدیه است» (شکل ۱۲۱). از اینجا نتیجه میشود که فاصلهٔ عکس تا چشم باید به همان اندازه‌ای که عکس از خود جسم کوچکتر است، از فاصلهٔ جسم تا عدسی کوچکتر باشد. بعبارت دیگر، باید عکس را در فاصله‌ای از چشم نگاه داشت که تقریباً مساوی طول کانونی عدسی دوربین عکاسی باشد.

اگر در نظر داشته باشیم که فاصلهٔ کانونی اکثریت دوربین‌های عکاسی غیرحرفه‌ای در حدود ۱۲ ــ ۱۵ سانتیمتر* است، آنوقت میفهمیم که ما هرگز اینگونه عکس‌هارا در فاصله صحیح از چشم تماشا نمیکنیم، فاصلهٔ بهترین دید برای یک چشم معمولی (۲۵ سانتیمتر) تقریباً دو برابر فاصله مذکور است. عکس هائی که از دیوار آویزانند نیز مسطح به نظر می‌آیند، زیرا آنها را از فاصله از اینهم بیشتر تماشا میکنند.

فقط اشخاص نزدیک بین که فاصلهٔ بهترین دید آنها کم است و نیز کودکان که قادرند از فاصله نزدیک ببینند، میتوانند از لذت تأثیری که یک عکس معمولی، درصورت تماشای صحیح آن (با یک چشم) می‌بخشد، بهرمند گردند. آنها وقتیکه عکس را درفاصله ۱۲ ــ ۱۵ سانتیمتر از چشم نگاه میدارند، در برابر خود تصویر مسطحی نمی‌بینند، بلکه منظرهٔ برجسته‌ای می‌بینند که نمای جلوی آن از نمای عقبی طوری جدا شده است که گوئی با استریوسکوپ به آن نگاه میکنند.

تصور میکنم حالا دیگر خوانندگان محترم قبول خواهند کرد که ما در اکثریت موارد، بعلت بی‌اطلاعی خودمان، از عکس آن لذتی را که واقعاً میتواند ببخشد، نمیبریم و اغلب بیخود و بیجهت شکوه و شکایت میکنیم که عکس‌ها بیروح هستند. تمام مطلب در آنستکه ما چشم خود را نسبت به عکس در نقطهٔ لازم قرار نمیدهیم و به عکسی که فقط برای یک چشم در نظر گرفته شده، با دو چشم نگاه میکنیم

تأثیر عجیب ذره‌بین

بطوریکه هم اکنون توضیح دادیم، اشخاص نزدیک‌بین به آسانی میتوانند عکس‌های معمولی را برجسته ببینند. اما آدم‌هائی که چشم معمولی دارند، چکار باید بکنند؟ آنها نمیتوانند عکس را زیاد به چشمشان نزدیک کنند، اما ذره‌بین به آنها کمک میکند. اینگونه اشخاص وقتی با عدسی‌هائی

---

*در اینجا و پس از آن، مؤلف آن نوع دوربین‌های عکاسی را در نظر دارد که در سال‌های تدوین کتاب «فیزیک برای سرگرمی» معمول بوده است (هیأت تحریریه).

که دو بار بزرگ میکند، به عکس نگاه کنند، میتوانند از آنچه نزدیک‌بینان برخوردارند، بهرمند شوند، یعنی بی آنکه به چشم خود فشار بیاورند، میتوانند ببینند که چطور عکس ساده برجستگی و فرو رفتگی پیدا میکند. میان تأثیر اینگونه تماشای عکس با تأثیر تماشای آن از فاصلهٔ زیاد و با دو چشم، تفاوت از زمین تا آسمان است. تأثیر اینگونه تماشای عکس معمولی تقریباً همانند تأثیر استریوسکوپ است. حالا معلوم میشود که چرا وقتی به عکس با ذره‌بین و یا یک چشم نگاه میکنیم، اغلب عکس برجسته بنظر می‌آید. این واقعیت بر همه معلوم است. اما بندرت اتفاق می‌افتد که این پدیده را درست توضیح بدهند.

یکی از تقریظ نویسان «فیزیک برای سرگرمی» در این مورد به من نوشت:

«در چاپ بعدی کتاب مسأله زیر را مورد بررسی قرار دهید: چرا وقتی با ذره‌بین معمولی به عکس نگاه میکنیم، عکس برجسته به نظر می‌آید؟ به عقیده من تمام توضیحات بغرنج و مرکب استریوسکوپ حتی قابل تنقید هم نیست. با یک چشم به استریوسکوپ نگاه کنید، خواهید دید که برجسته بودن، علیرغم تئوری، حفظ میشود».

البته حالا بر خوانندگان گرامی روشن است که این واقعیت کوچکترین خدشه‌ای به تئوری استریوسکوپ وارد نمی‌آورد. تأثیر جالب اسبابی که در مغازه‌های اسباب بازی فروشی بنام «دورنما» میفروشند، از همین اصل سرچشمه میگیرد. در این اسباب کوچک عکس معمولی یک منظره یا جمعیتی از پشت ذره‌بین و با یک چشم دیده میشود. همین برای برجسته به نظر آمدن کافی است. معمولا بعضی از قسمت‌های نمای جلوی منظره را می‌برند و جلوتر از عکس قرار میدهند، این امر نیز بر تأثیر فریبنده اسباب می‌افزاید. چشم ما که در برابر برجستگی‌های اشیاٴ نزدیک بسیار حساس است، نسبت به برجستگی‌های نسبتاً دور آنقدرها حساسیت ندارد.

بزرگ کردن عکس‌ها

آیا نمیشود عکس‌ها را طوری تهیه کرد که چشم معمولی بدون توسل به ذره‌بین، بتواند آنهارا درست تماشا کند؟ کاملا میشود. برای این کار کافی است از دوربین‌های عکاسی استفاده کنیم که فاصلهٔ کانونی ابژکتیف آنها زیاد باشد. پس از توضیحات بالا روشن است که عکسی را که با عدسی دارای فاصله کانونی ۲۵ — ۳۰ سانتیمتر برداشته شده باشد، میتوان از فاصله معمولی (با یک چشم) تماشا کرد و عکس به اندازه کافی برجسته به نظر خواهد آمد.

میتوان عکس‌هائی برداشت که حتی وقتی آنها را از فاصلهٔ زیاد و با دو چشم هم تماشا کنیم، مسطح به نظر نیایند. گفتیم که وقتی هر دو چشم از چیزی دو تصویر کاملا همانند ببینند، شعور ما آن دو تصویر را به صورت یک تصویر مسطح در هم می‌آمیزد. اما این تمایل شعور، با افزایش مسافت بسرعت تقلیل می‌یابد. در عمل ملاحظه میشود که عکس‌هائی را که با ابژکتیف‌های دارای فاصلهٔ کانونی ۷۰ سانتیمتر برداشته شده باشند، میتوان بلاواسطه با هر دو چشم تماشا کرد و عکس‌ها به صورت منظرهٔ برجسته به نظر خواهند آمد.

اما داشتن دوربین عکاسی با ابژکتیف دارای فاصله کانونی زیاد کاری است دشوار و پر دردسر. به این دلیل راه دیگری را نشان میدهیم، و آن راه، بزرگ کردن عکس‌هائی است که با دوربین عکاسی

معمولی برداشته شده‌اند. وقتی عکس‌ها را به این ترتیب بزرگ کنیم، فاصله لازم و مناسب برای تماشای آنها نیز بهمان نسبت بزرگ کردن عکس، افزایش می‌یابد. اگر عکسی را که با دوربین عکاسی با ابژکتیف دارای فاصله کانونی ۱۰ سانتیمتر برداشته شده، ٤ یا ٥ بار بزرگ کنیم، کافی است که عکس در ما تأثیر مطلوب را ببخشد. عکس بزرگ‌شده را میتوان از فاصلهٔ ٦٠ — ٧٥ سانتیمتر با هر دو چشم تماشا کرد. عکس بزرگ شده تا حدی تار و ناروشن است، اما این امر از میزان تأثیر عکس نمیکاهد، زیرا ناروشنی آن از دور کم به چشم میخورد. در عوض بمیزان زیادی برجسته و منظره‌مانند بنظر می‌آید.

بهترین جا در سینما

کسانی که زیاد به سینما میروند، لابد متوجه شده‌اند که برخی از فیلم‌ها فوق‌العاده برجسته به نظر می‌آیند. اشکال و تصاویر از زمینه عقب جدا شده و بقدری برجسته هستند که وجود پرده را از یاد می‌بری و گوئی منظرهٔ حقیقی و هنرپیشه‌های زنده را در صحنه می‌بینی.

اینگونه‌برجستگی تصاویر، برخلاف آنچه اغلب تصور می کنند، به خصوصیات فیلم بستگی ندارد، بلکه بسته به جائی است که بیننده نشسته است. گرچه فیلم‌های سینما را با دوربین‌های فیلمبرداری دارای فاصلهٔ کانونی فوق‌العاده کم برمیدارند، اما چندین‌برابر، در حدود صد برابر، بزرگتر روی پرده نشان میدهند، بطوری که میتوان آنها را با دو چشم و از فاصله زیادی (متر ١٠=١٠٠×١٠ سانتیمتر) تماشا کرد. حد اکثر برجستگی، زمانی مشاهده میشود که ما فیلم را با همان زاویه دیدی ببینیم که دوربین فیلمبرداری منظرهٔ واقعی را هنگام فیلمبرداری «می‌دیده است». آنوقت در برابر ما منظره طبیعی جلوه خواهد کرد.

فاصله‌ای را که این مناسب‌ترین زاویهٔ دید را داشته باشد، چگونه باید پیدا کرد؟ برای این کار باید جائی انتخاب کرد که: اولا — روبروی وسط پرده باشد، ثانیاً — فاصلهٔ آن نقطه از پرده به همان میزان بزرگتر از عرض تصویر باشد که فاصلهٔ کانونی دوربین فیلمبرداری از عرض فیلم بیشتر است.

معمولا برای فیلمبرداری، بسته به خصوصیات فیلمبرداری، از دوربین‌های فیلمبرداری دارای فاصلهٔ کانونی ٣٥ یا ٥٠ یا ٧٥ و یا ١٠٠ میلیمتر استفاده میشود. عرض استاندارد فیلم‌ها ٢٤ میلیمتر است. مثلا برای فاصلهٔ کانونی ٧٥ میلیمتر تناسب زیر را خواهیم داشت:

$$\frac{\text{فاصلهٔ مطلوب}}{\text{عرض تصویر}}=\frac{\text{فاصلهٔ کانونی}}{\text{عرض فیلم}}=\frac{٧٥}{٢٤}\approx ٣$$

بنا بر این در این مورد برای پیدا کردن مناسب‌ترین جا باید عرض تصویر را در ٣ ضرب کرد. اگر عرض تصویر روی پرده سینما، مثلا ٦ قدم است، بهترین جا برای تماشای آن فیلم در ١٨ قدمی پرده قرار دارد.

وقتی میخواهیم پیشنهادهای مختلفی را که بمنظور برجسته نمودن فیلم‌های سینما مطرح میشوند، مورد آزمایش قرار دهیم، این شرایط را نباید از نظر دور بداریم، زیرا به آسانی میتوان خصوصیاتی را که از علل نامبردهٔ بالا ناشی میشود، به اختراع مورد آزمایش نسبت داد.

اندرزی به خوانندگان مجلات مصور

البته تصاویری که از روی عکس‌ها در مجلات و کتاب‌ها چاپ میشوند، دارای همان خصوصیاتی هستند که خود عکسها دارند. به این تصاویر هم اگر با یک چشم و از فاصله مناسب نگاه کنیم، بهتر برجسته بنظر می‌آیند. از آنجا که عکس‌های مختلف با دوربین‌های عکاسی دارای فاصلهٔ کانونی مختلف برداشته شده است، برای پیدا کردن مناسب‌ترین فاصلهٔ تماشای آنها باید به آزمایش توسل جست. یک چشمتان را ببندید، دستتان را به جلو دراز کنید و تصویر مورد آزمایش را طوری نگاه دارید که سطح آن عمود به شعاع دید باشد و چشم بازتان در برابر مرکز تصویر قرار گیرد. بعد همانطور که به عکس نگاه میکنید، عکس را بتدریج به چشمتان نزدیک کنید. لحظه‌ای را که عکس بیش از هر جای دیگر برجسته به نظر می‌آید، به آسانی خواهید یافت. بسیاری از عکس‌هائی که وقتی آنها را بطور معمولی تماشا میکنیم مسطح و نا روشن هستند، اگر طبق آنچه گفته شد تماشا کنیم، برجسته و روشن بنظر می‌آیند و بعلاوه برق آب و سایر تأثیرات استریوسکوپیک نیز نمایان میشود.

با اینکه تقریباً همهٔ آنچه در بالا گفته شد، بیش از نیم قرن پیش در کتاب‌های ساده و مورد استفادهٔ عموم تشریح شده است، تعجب‌آور استکه مردم از این حقایق ساده کم اطلاع دارند. در کتاب «اصول فیزیولوژی عقل» تألیف کارپنتر که ترجمهٔ روسی آن در سال ۱۸۷۷ منتشر شده، در باره طرز تماشای عکس مطالب زیر نوشته شده است:

«شایان توجه است که تأثیر اینگونه تماشای عکس (با یک چشم) تنها منحصر به برجسته به نظر آمدن جسم نیست. سایر خصوصیات آن عبارت از اینستکه عکس فوق‌العاده روشن و نزدیک به واقعیت به نظر می‌آید و بر فریبندگی آن افزوده میشود. این حکم بیش از همه در مورد تصویر آب ساکن، که در شرایط عادی ضعیف‌ترین جنبه عکس میباشد، صدق میکند. اگر به اینگونه تصویر آب با دو چشم نگاه کنیم، مسلماً سطح آن تار و بی‌جلا به نظر می‌آید، اما اگر با یک چشم نگاه کنیم، اغلب اوقات در آن شفافیت و عمق حیرت آوری مشاهده خواهیم کرد. عین این مطلب را میتوان در باره خصوصیات مختلف سطوحی که نور را منعکس میکنند، مانند برنز، عاج و امثال آن، گفت. اگر نه با دو چشم، بلکه با یک چشم به عکس نگاه کنیم، مادهٔ جسمی را که از آن عکس برداشته شده، بمراتب آسان‌تر میتوان تشخیص داد».

به یک مسأله دیگر نیز باید توجه داشت. وقتی عکس را بزرگ میکنیم، نزدیک‌تر به واقعیت جلوه میکند، در حالیکه وقتی عکس را کوچک میکنیم، کیفیت آن از این حیث بدتر میشود. البته عکس‌های کوچک شده دقیق‌تر و واضح‌تر هستند، اما مسطح بنظر می‌آیند و در آدم تأثیر برجستگی و فرورفتگی را بوجود نمی‌آورند. پس از تمام آنچه گفته شد، علت این مسأله باید برای ما روشن باشد: متناسب با میزان کوچک کردن عکس «فاصله منظره‌ای» آن نیز، که بدون آنهم خیلی کم است، باز هم کمتر میشود.

تماشای تابلوها

آنچه در باره عکس گفتیم تا حدودی در باره تابلوهائی که نقاشان کشیده‌اند، نیز قابل تطبیق است، یعنی تابلوها را نیز بهتر است از فاصلهٔ مناسب تماشا کنیم. فقط در این صورت است که احساس منظره میکنیم و تابلو مسطح به نظر نمی‌آید، بلکه با برجستگی و فرو رفتگی‌های متناسب به

نظر می‌آید. تابلوها را، بخصوص تابلوهائی را که زیاد بزرگ نیستند، بهتر است نه با دو چشم، بلکه با یک چشم تماشا کنیم.

کارپنتر روانشناس انگلیسی در اثر نامبرده در بالا در این مورد نوشته است :

«از مدت‌ها پیش معلوم است که وقتی به تابلوهائی که شرایط منظره‌ای و سایه و روشن و وضع کلی قسمت‌های متشکلهٔ آن کاملا با واقعیت مطابقت دارد، به دقت نگاه میکنیم، اگر با یک چشم نگاه کنیم، تأثیری که در ما می بخشد بمراتب بیشتر و زنده‌تر از وقتی است که با دو چشم نگاه میکنیم، و اگر از درون لوله‌ای که مانع دیدن همهٔ چیزهای خارج از تابلو میشود، نگاه کنیم، این تأثیر باز هم بیشتر و شدیدتر میشود. سابقاً این واقعیت را بکلی نادرست توضیح میدادند. بکون میگوید : «ما با یک چشم بهتر از دو چشم می‌بینیم، زیرا در اینصورت ارواح حیاتی در یک نقطه متمرکز میشوند و با نیروی بیشتری تأثیر می‌بخشند».

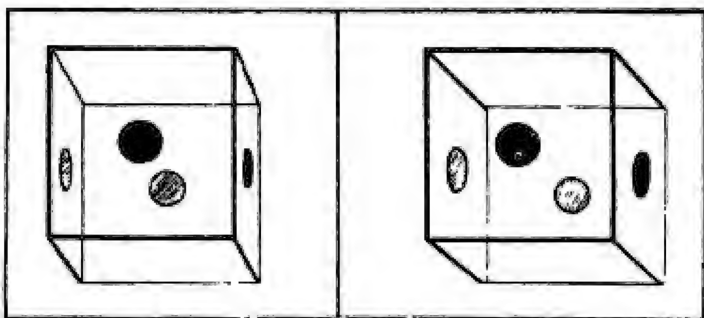
اما در واقع علت این امر آنستکه وقتی از فاصلهٔ متوسط با هر دو چشم به تابلو نگاه میکنیم، مجبوریم مسطح بودن آن را قبول کنیم، ولی وقتی فقط با یک چشم نگاه میکنیم، عقل ما آسان‌تر تحت تأثیر منظره و سایه و روشنی‌ها و سایر ویژگی‌ها قرار میگیرد. به این دلیل وقتی به تابلو بدقت چشم میدوزیم، پس از اندک مدتی تابلو برجسته بنظر می‌آید و حتی ممکن است مانند منظره واقعی مجسم شود. میزان مجسم شدن، قبل از هر چیز بسته به صحت و دقتی است که تصویر واقعی اجسام در سطح، روی تابلو آورده شده است... برتری دیدن با یک چشم در این موارد در آنستکه عقل آزاد است هر طور میخواهد تابلو را تفسیر کند و هیچ چیز عقل را مجبور نمیکند که تابلو را حتماً مسطح ببیند».

عکس‌های کوچک شده از روی تابلوهای بزرگ در اغلب موارد بیش از خود آن تابلوها برجسته به بظر می‌آیند. اگر به یاد بیاورید که وقتی تابلوئی را کوچک میکنیم، فاصلهٔ زیادی که معمولا باید تصویر را تماشا کرد کم میشود و در نتیجه عکس کوچک شده از فاصلهٔ کم‌تری برجسته به نظر می‌آید، آنوقت علت این پدیده را می‌فهمید.

استریوسکوپ چیست؟

حالا که از بررسی تابلوها به بررسی اجسام می‌پردازیم، چنین سؤالی برای ما مطرح میشود : اصولا چرا اجسام، برجسته به نظر می‌آیند، نه مسطح؟ تصویری که روی شبکیهٔ چشم ما بوجود می‌آید، مسطح است. پس چگونه اشیاٰ نه بصورت تابلوهای مسطح، بلکه بصورت اجسام سه‌بعدی به نظر ما می‌آیند؟

در این جریان چند عامل تأثیر دارد : اولا — تفاوت میزان روشنی قسمت‌های مختلف جسم، به ما امکان میدهد تا در باره شکل آن قضاوت کنیم. ثانیاً — فاصلهٔ همهٔ قسمت‌های تصویر مسطح از چشم به یک اندازه است، در صورتیکه قسمت‌های مختلف اجسام سه بعدی در فواصل گوناگونی نسبت به چشم قرار دارند و برای آنکه اجسام را روشن و واضح ببینیم، چشم باید در آن واحد «آمادگی» غیر یکسانی به خود بگیرد. در نتیجه ما به چشممان فشار می‌آوریم تا همهٔ قسمت‌های جسم سه‌بعدی را که در فاصله‌های مختلف قرار دارند، با روشنی و وضوح یکسانی ببیند. احساس این فشار دومین عامل موثر در این جریان است. اما مهمترین عاملی که در این جریان به ما کمک میکند آنستکه تصاویری که در هر یک از دو چشم ما از جسم واحدی بوجود می‌آیند، یکسان نیستند. اگر ابتدا یک چشم و سپس چشم دیگرمان را ببندیم و به نوبت به جسمی که در فاصله نزدیکی قرار دارد نگاه کنیم، به



شکل ۱۲۲ — یک مکعب شیشه‌ای با دایره‌های رنگی طوری که با چشم چپ و چشم راست دیده میشود.

آسانی میتوانیم یقین حاصل کنیم که چشم راست و چشم چپ یک جسم واحد را یکسان نمی‌بینند و تصاویری که در هر یک از آنها بوجود می‌آیند، باهم تفاوت دارند. همین تفاوت است که بوسیله عقل ما بصورت تأثیر نقش برجسته تعبیر میشود (شکل ۱۲۰ و ۱۲۲).

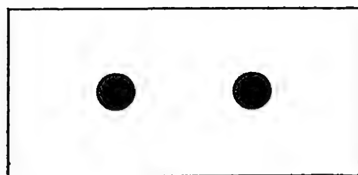
حالا دو تصویر یک جسم را در نظرتان مجسم کنید که اولی آن تصویری از جسم باشد که چشم چپ می‌بیند و دومی تصویری باشد که چشم راست می‌بیند. اگر به این تصویرها طوری نگاه کنیم که هر چشم فقط تصویر منعکس‌شده در خودش را ببیند، آنوقت ما بجای دو تصویر مسطح یک جسم برجسته خواهیم دید، حتی برجسته‌تر از آنچه اجسام با یک چشم دیده میشوند. اینگونه تصویرهای زوج را بوسیله اسباب مخصوصی که «استریوسکوپ» (اسباب برجسته‌بینی) نام دارد، تماشا میکنند. در استریوسکوپ‌های قدیمی هر دو تصویر بوسیله آئینه در هم می‌آمیختند، اما در استریوسکوپ‌های جدید این عمل بوسیله منشورهای شیشه‌ای محدب صورت میگیرد. این منشورها اشعه را طوری منکسر میکنند که در صورت امتداد خیالی آنها هر دو تصویر (که در نتیجه محدب بودن منشور کمی بزرگ شده‌اند) روی یکدیگر قرار میگیرند. به‌طوری که ملاحظه میکنید، ایده استریوسکوپ فوق‌العاده ساده است، و باین دلیل تأثیری که بوسیله این اسباب‌های ساده حاصل میشود، بمراتب حیرت‌آورتر میباشد.

بدون شک اکثریت خوانندگان عکس‌های استریوسکوپیک صحنه‌ها و منظره‌های مختلف را دیده‌اند. شاید برخی، اشکالی را که برای تسهیل آموزش استریومتری (هندسه فضائی) کشیده شده است، نیز با استریوسکوپ تماشا کرده باشند. ما از این پس در باره این موارد بکار بردن استریوسکوپ که برای عموم کم و بیش معلوم است، سخنی نخواهیم گفت و فقط به بررسی آن مواردی میپردازیم که شاید برای بسیاری از مردم معلوم نباشد.

استریوسکوپ طبیعی ما

تصویرهای استریوسکوپیک را میتوان بدون هیچ اسبابی نیز تماشا کرد. فقط باید خود را عادت داد که چشم ها را بطور مناسب متوجه تصویر کرد. نتیجه‌ای که به دست می‌آید، مانند نتیجه تماشا با استریوسکوپ است، فقط با این تفاوت که در این مورد تصویر بزرگ نمیشود. ویتستون مخترع استریوسکوپ در ابتدا از همین اسلوب طبیعی استفاده میکرد.

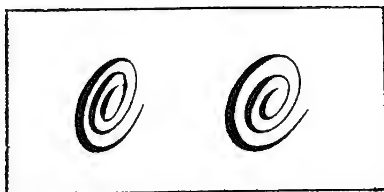
در پائین یک رشته شکل‌های استریوسکوپیک که بتدریج مرکب‌تر و بغرنج تر میشوند، از نظر خوانندگان میگذرد. بکوشید این شکل‌ها را مستقیماً بدون استریوسکوپ تماشا کنید. البته پس از مقداری تمرین نتیجهٔ لازم را به دست خواهید آورد.*



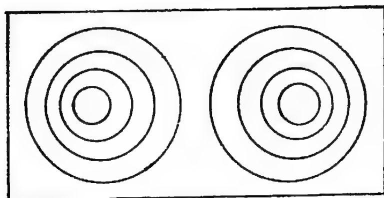
شکل ۱۲۳ — چند ثانیه به فاصله میان دو دایره نگاه کنید و از آن چشم برندارید. دایره‌ها روی هم قرار میگیرند و به صورت یک دایره به نظر می‌آیند.

از شکل ۱۲۳ — یک جفت دایره کوچک سیاه — شروع کنید. شکل را جلو چشمتان بگیرید و در مدت چند ثانیه از فاصلهٔ میان دو دایره چشم برندارید. در این ضمن بکوشید طوری نگاه کنید که گوئی میخواهید جسمی را که دور تر از شکل، در آنسوی شکل قرار دارد، تماشا کنید. بزودی دیگر نه دو دایره، بلکه چهار دایره خواهید دید — هر دایره دو دایره میشود. اما بعد دایره‌های کناری از هم دور و دایره‌های وسطی به یکدیگر نزدیک میشوند و روی هم قرار میگیرند. اگر همین کار را با شکل ۱۲٤ و شکل ۱۲۵ تکرار کنید، در شکل ۱۲۵ وقتی دو تصویر روی هم قرار میگیرند و به صورت یک تصویر به نظر می‌آیند، گوئی در برابر خود درون لولهٔ درازی را می‌بینید که یک سر آن به نقطهٔ دوری میرود.

وقتی به این نتیجه نائل آمدید، میتوانید به تماشای شکل ۱۲٦ بپردازید. در این شکل باید اجسام هندسی را ببینید که در فضا معلق هستند. شکل ۱۲۷ بصورت راهرو دراز عمارت سنگی یا تونلی به

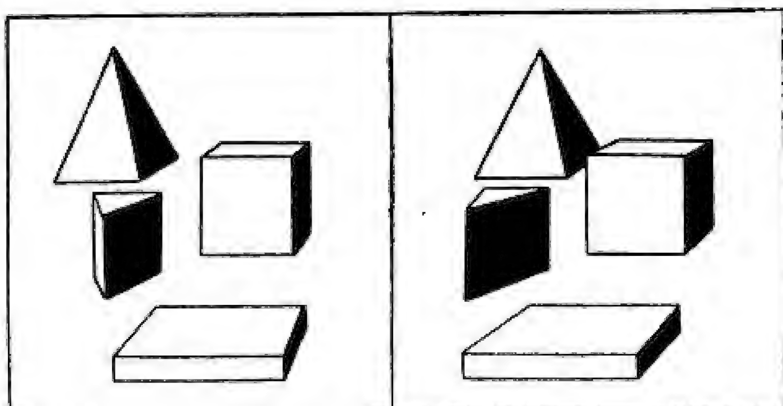


شکل ۱۲٤ — همین آزمایش را با این دو تصویر بکنید. وقتی به نتیجه مطلوب رسیدید، به آزمایش بعدی بپردازید.

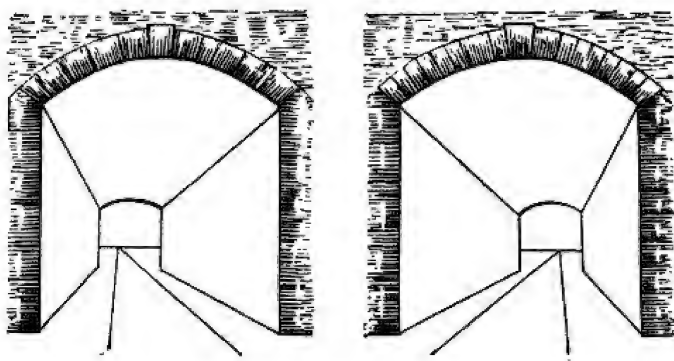


شکل ۱۲۵ — وقتی این تصویرها روی هم قرار گرفتند و مانند یک تصویر به نظر آمدند، در برابر خود درون لولهٔ درازی را خواهید دید که یک سر آن به نقطه دوری میرود.

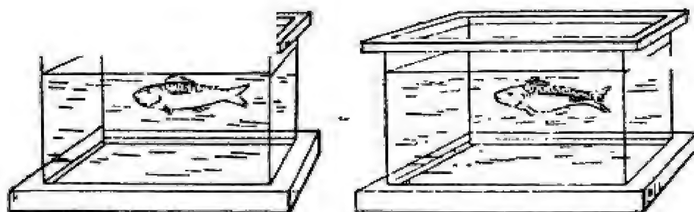
* باید خاطرنشان ساخت که همهٔ مردم نمیتوانند یاد بگیرند، حتی با استریوسکوپ، برجسته ببینند. بعضی (مثلا آنهائی که چشمشان چپ است یا آنهائی که عادت کرده‌اند فقط با یک چشم کار کنند) اصلا استعداد این کار را ندارند. برخی پس از مدت زیادی تمرین یاد می‌گیرند. عده‌ای دیگر ، بطور عمده جوانان، این کار را در مدت بسیار کوتاهی — ۱۰ — ۱۵ دقیقه — یاد میگیرند.



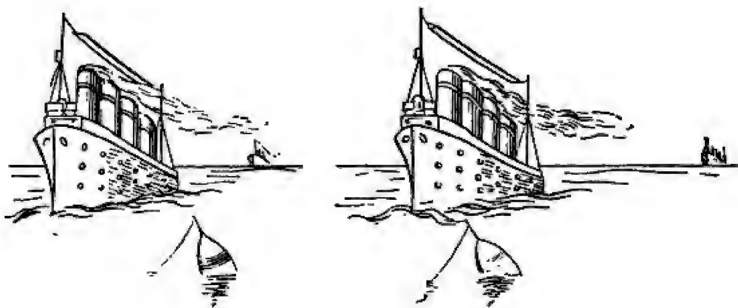
شکل ۱۲۶ — وقتی این چهار جفت شکل هندسی روی هم قرار گرفتند، مانند چهار جسم که در فضا معلق هستند، به نظر می‌آیند.



شکل ۱۲۷ — راهرو دراز یک عمارت را خواهید دید.



شکل ۱۲۸ — ماهی در حوضچه شیشه‌ای.



شکل ۱۲۹ — منظره استریوسکوپیک دریا.

نظرتان می‌آید، در شکل ۱۲۸ میتوانید از تماشای یک حوضچه شیشه‌ای شفاف لذت ببرید. بالاخره در شکل ۱۲۹ یک تابلو کامل منظره دریا در برابر خود خواهید دید.

یاد گرفتن تماشای مستقیم اینگونه تصاویر زوج کار نسبتاً آسانی است. بسیاری از آشنایان من در مدت کمی، پس از چند آزمایش مقدماتی، این کار را یاد گرفتند. اشخاص نزدیک‌بین و دوربین که عینک میزنند، میتوانند عینکشان را بردارند و تصاویررا مانند هر تصویر دیگری تماشا کنند. شکل‌ها را آنقدر نسبت به چشمتان دور و نزدیک کنید تا در مناسب‌ترین فاصله قرار بگیرند. در هر صورت آزمایش ها را باید در جائی انجام داد که کاملا روشن باشد، این امر در موفقیت آزمایش تأثیر زیادی دارد.

وقتی یاد گرفتید که شکل‌های بالا را بدون استریوسکوپ تماشا کنید، میتوانید از تجربه‌ای که اندوخته‌اید، برای تماشای هر گونه عکس استریوسکوپیک بدون اسباب مخصوص، استفاده کنید. عکس‌های استریوسکوپیکی را که در صفحات بعد به چاپ رسیده است (ص ۱۶۰ و ۱۶۵) نیز میتوانید با چشم غیر مسلح تماشا کنید. فقط نباید بیش از حد خود را به این تمرین مشغول کرد تا چشم خسته نشود.

اگر موفق نشدید چشمتان را به تماشای عکس‌های استریوسکوپیک عادت بدهید و استریوسکوپ هم نداشتید، میتوانید از شیشه‌های عینک‌های اشخاص دوربین استفاده کنید. باید شیشه‌ها را به دو سوراخی که در یک تکه مقوا تعبیه شده است، طوری بچسبانید که فقط از کناره داخلی شیشه‌ها نگاه کنید. بعلاوه باید بین دو شکل دیواره‌ای قرار داد. با این استریوسکوپ ساده کاملا میتوان به مقصود نائل آمد.

با یک چشم و با دو چشم

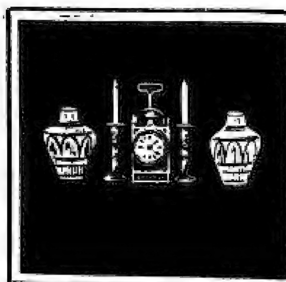
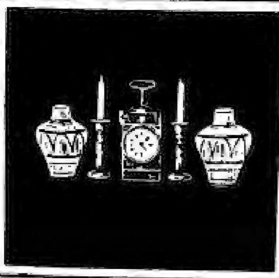
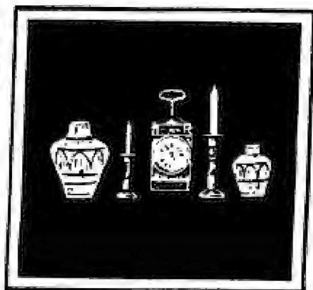
در شکل ۱۳۰ در بالا سمت چپ عکس سه ظرف شیشه‌ای دواخانه چاپ شده است که ظاهراً با هم مساوی هستند. هر قدر به این عکس‌ها با دقت نگاه کنید، نمیتوانید کوچکترین تفاوتی در اندازهٔ ظرف‌ها ببینید. اما تفاوت وجود دارد و بسیار هم زیاد است. ظرف‌ها به یک اندازه به نظر می‌آیند،

زیرا فاصله آنها تا چشم یا تا دوربین عکاسی به یک اندازه نیست: ظرف بزرگ دورتر از ظرف‌های کوچک است. اما از این سه ظرفی که در شکل دیده میشوند، کدام نزدیک‌تر و کدام دورتر قرار دارند؟ این مسأله را با نگاه ساده به تصویرها نمیتوان تعیین کرد.

اما اگر به کمک استریوسکوپ یا آن نوع تماشای استریوسکوپیک که هم اکنون شرح دادیم متوسل بشویم، حل مسأله آسان است. آنوقت با وضوح تمام می‌بینیم که از سه ظرف، ظرف سمت چپ خیلی دورتر از ظرف وسطی و ظرف وسطی نیز بنوبه خود خیلی دورتر از ظرف سمت راست است. تناسب حقیقی اندازه‌های ظرف‌ها در شکل سمت راست نشان داده شده است.

در شکل ۱۳۰ پائین موردی را که از مورد بالا نیز حیرت‌آورتر است، مشاهده میکنیم. در این جا عکس دو گلدان، دو شمعدان و یک ساعت را می‌بینید، ضمناً هر دو گلدان و هر دو شمعدان کاملا مساوی به نظر می‌آیند. اما در واقع از لحاظ اندازه میان آنها تفاوت زیادی وجود دارد: گلدان سمت چپ در حدود دو برابر از گلدان سمت راست بلندتر است و شمعدان سمت چپ بمراتب کوتاه‌تر از ساعت و شمعدان سمت راست. وقتی همین عکس‌ها را با استریوسکوپ تماشا کنیم، علت این دگرگونی فوراً آشکار میشود: اشیاء در یک صف چیده نشده‌اند، بلکه در فاصله‌های مختلف قرار دارند، اشیا بزرگ دورتر و اشیاء کوچک نزدیک‌تر هستند. در اینجا برتری مسلم دید استریوسکوپیک «با دو چشم» بر دید استریوسکوپیک «با یک چشم» بطور وضوح مشاهده میشود.



شکل ۱۳۰ــ آنچه با استریوسکوپ دیده میشود.

آنچه هنگام تماشا با چشم غیر مسلح دیده میشود.

طریقهٔ سادهٔ کشف چیزهای جعلی

دو شکل کاملا یکسان، مثلا دو مربع سیاه مساوی، داریم. وقتی این شکل ها را با استریوسکوپ تماشا کنیم، یک مربع می‌بینیم که با هر یک از دو مربع جداگانه هیچ تفاوتی ندارد. اگر در مرکز هر یک از مربع ها یک نقطهٔ سفید باشد، البته این نقطهٔ سفید نیز در مرکز مربعی که با استریوسکوپ می‌بینیم، قرار میگیرد. اما همینکه نقطهٔ سفید یکی از مربع‌ها را کمی از مرکز مربع دور کنیم، تأثیر غیر منتظره‌ای می‌بخشد: باز هم مانند پیش در استریوسکوپ یک نقطه می‌بینیم، اما نه روی خود مربع، بلکه در جلو یا در عقب آن! کافی است تفاوت بسیار ناچیزی میان دو شکل وجود داشته باشد، تا با استریوسکوپ در آن برجستگی و فرورفتگی مشاهده شود.

این امر امکان میدهد تا بتوان اسکناس‌ها وسایر اسناد و مدارک جعلی را بسادگی کشف کرد. عکس مظنون را با یک اس[illegible] حقیقی کنار هم در اسریوسکوپ بگذاریم، هر قدر هم با [illegible] جعل شده باشد، فوراً جعلی بودن [illegible] میشود: تفاوت بسیار ناچیز میان یک حرف یا یک در دو [illegible]ناس فورا به چشم میخورد، زیرا آن حرف یا آن خط در جلو یا در عقب زمینه اصلی به [illegible] خواهد آمد*.

دید غولان

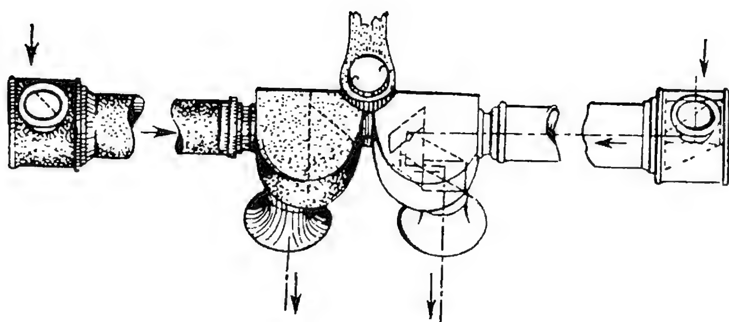
وقتی جسم در فاصلهٔ بسیار دور، بیش از ۴۵۰ متر، قرار دارد، فاصلهٔ میان چشم‌های ما دیگر نمیتواند در تفاوت تأثیرات نظری نقشی داشته باشد. به این دلیل بناها و کوههای دور و مناظر، مسطح به نظر می‌آیند. بهمین دلیل با اینکه ماه بمراتب نزدیکتر از سیارات و سیارات فوق‌العاده نزدیکتر از ثوابت هستند، ماه و همه ستارگان در یک سطح به نظر ما می‌آیند.

بطور کلی ما برای اجسامی که از ۴۵۰ متر دورتر هستند، استعداد درک بلاواسطه برجستگی‌ها و فرورفتگی‌ها را بکلی از دست میدهیم. چشم راست و چشم چپ آنها را یکسان می‌بینند، زیرا آن ۶ سانتیمتر فاصله میان مردمک چشم‌ها نسبت به مسافت ۴۵۰ متر بسیار ناچیز است. روشن است که عکس‌های استریوسکوپیک که در این شرایط برداشته شده باشند، کاملا یکسان هستند و نمیتوانند در استریوسکوپ تصور برجستگی و فرورفتگی بوجود آورند.

اما رفع این نقصان کار آسانی است: اجسام دور را باید از دو نقطه که فاصلهٔ میان آنها از فاصلهٔ معمولی میان دو چشم بیشتر است، عکس‌برداری کرد. اگر اینگونه عکس‌ها را با استریوسکوپ

---

* این فکر را که برای نخستین بار در اواسط قرن ۱۹ میلادی از طرف «دووه» اظهار شده است، نسبت به همهٔ اسکناس‌های زمان ما نمیتوان به کار برد. شرایط فنی چاپ اسکناس طوری است که حتی اگر هر دو اسکناس حقیقی باشند، نقش‌های اسکناس در استریوسکوپ به شکل تصویر مسطح به نظر نمی‌آید. اما اسلوب «دووه» برای تمیز دو صفحهٔ یک کتاب که با حروف‌چینی واحد چاپ شده، از صفحه همان کتاب که با حروف‌چینی تازه چاپ شده، کاملا مناسب است.



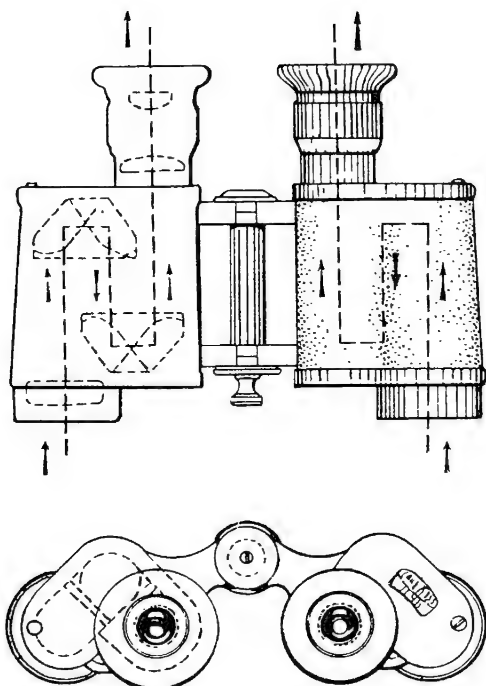
شکل ۱۳۱ — دوربین دوشاخه یا دوربین استریوسکوپیک.

تماشا کنیم، منظره‌ای خواهیم دید که هر گاه فاصلهٔ میان دو چشممان بمراتب بیش از فاصلهٔ معمولی بود، می‌دیدیم. راز برداشتن عکس‌های استریوسکوپیک از مناظر در همین است. معمولا این عکس‌ها را از پشت منشورهای بزرگ‌کننده (که سطوح آنها محدب است) تماشا میکنند، بطوری که اینگونه عکس‌های استریوسکوپیک برجسته اغلب با مقیاس طبیعی به نظر می‌آیند و تأثیر حیرت‌آوری می‌بخشند.

لابد خوانندگان حدس زده‌اند که ممکن است اسبابی مرکب از دو دوربین ساخت که بتوان برجستگی‌ها و فرورفتگی‌های منظره را مستقیماً در طبیعت دید، نه از روی عکس. اینگونه اسباب‌ها واقعاً وجود دارد و دوربین‌دوشاخه نامیده میشود و از دو لوله عبارت میباشد که فاصلهٔ میان آنها از فاصلهٔ معمولی میان چشم‌ها زیادتر است و هر دو تصویر بوسیله منشورهای منعکس‌کننده به چشم میرسند (شکل ۱۳۱). وقتی با این اسباب تماشا میکنی چنان احساس خارق‌العاده‌ای بوجود می‌آید که توصیف ناپذیر است. سر تا سر طبیعت دگرگون میشود. کوههای دوردست برجسته به نظر می‌آیند، درختان، سنگلاخ‌ها، بناها و کشتی‌ها در دریا — همه چیز برجسته و محدب است و در فضای لایتناهی قرار دارد، نه روی یک صفحهٔ مسطح. شما با چشم خود می‌بینید کشتی دوردستی که با دوربین معمولی بی‌حرکت به نظر می‌آید، چگونه حرکت میکند. قاعدتاً غولان افسانوی میبایست مناظر زمین ما را به این شکل می‌دیدند.

اگر دوربین‌ها ۱۰ بار بزرگ کنند و فاصله میان عدسی‌ها ۶ برابر فاصلهٔ معمولی میان مردمک‌های چشم‌ها (یعنی، ۳۹=۶/۵×۶ سانتیمتر) باشد، در آنصورت تصویری که می‌بینیم ۶۰=۱۰×۶ بار واضح تر از تصویری است که با چشم غیر مسلح خواهیم دید. در نتیجه حتی چیزهائی که در فاصلهٔ ۲۰ کیلومتری قرار داشته باشند، باز هم بحد کافی برجسته به نظر می‌آیند.

دوربین‌دوشاخه برای مساحان، دریانوردان، توپچی‌ها و جهان‌گردان اسبابی است بی‌همتا، بخصوص اگر به صفحهٔ مدرجی که میتوان بوسیلهٔ آن مسافت را اندازه گرفت (مسافت‌یاب استریوسکوپیک)، مجهز باشد.



شکل ۱۳۲ — دوربین منشوری.

دوربین منشوری «زایس» نیز همین تأثیر را می‌بخشد، زیرا فاصلهٔ میان عدسی‌های آن بیش از فاصلهٔ معمولی میان چشم‌ها میباشد (شکل ۱۳۲). در دوربین‌های مخصوص تاتر، برعکس، فاصلهٔ میان عدسی‌ها کمتر از فاصلهٔ معمولی میان چشم‌ها است، تا از میزان برجستگی بکاهد و دکوراسیون طبیعی به نظر بیاید.

جهان در استریوسکوپ

اگر با دوربین دوشاخه به ماه یا به یکی از ستارگان نگاه کنیم، هیچ گونه برجستگی نخواهیم دید. انتظار دیگری نیز نمیبایست داشته باشیم، زیرا مسافت‌های آسمانی حتی برای دوربین دوشاخه نیز فوق‌العاده زیاد هستند. فاصله ۳۰ — ۵۰ سانتیمتر میان دو عدسی دوربین‌دوشاخه در مقایسه با فاصلهٔ میان زمین و ستارگان چه اهمیتی دارد؟ اگر میتوانستیم دوربین‌دوشاخه‌ای بسازیم که فاصلهٔ میان لوله‌های آن حتی دهها و صدها کیلومتر بود، باز هم وقتی با آن به ستارگانی که دهها میلیون کیلومتر از ما دورند نگاه میکردیم، کوچکترین تأثیری نمی‌بخشید.

در اینجا باز هم عکس‌های استریوسکوپیک به ما کمک میکنند. فرض کنیم ستاره‌ای را دیروز و سپس امروز عکس‌برداری کرده‌ایم. هر دو بار هنگام عکس‌برداری، ما در یک نقطه زمین، اما در دو نقطه مختلف منظومه شمسی بوده‌ایم، زیرا کره زمین در یک شبانه روز میلیون‌ها کیلومتر در مدار خود حرکت کرده است. و البته این دو عکس همانند نخواهند بود. اگر این عکس‌ها را در استریوسکوپ بگذاریم، آنوقت نه تصویر مسطح، بلکه تصویر برجسته‌ای خواهیم دید.

بنا بر این ما میتوانیم با استفاده از حرکت زمین در مدارش، اجسام آسمانی را از دو نقطهٔ بسیار دور از یکدیگر عکس‌برداری کنیم، و این عکس‌ها عکس‌های استریوسکوپیک خواهند بود. غولی را با سری عظیم در نظرتان مجسم کنید که فاصلهٔ میان چشمهایش چندین میلیون کیلومتر باشد، آنوقت می‌فهمید که منجمین با استفاده از عکس‌برداری فضائی چه نتایج فوق‌العاده‌ای به دست می‌آورند.

در حال حاضر برای کشف ستارگان جدید، بخصوص اختروارههای (آستروئیدها) بیشماری که در فضای میان مدار مریخ و مشتری در گردشند، از استریوسکوپ استفاده میکنند. تا چندی پیش کشف این آستروئیدها امری بود تصادفی و بسته به بخت و اقبال جوینده. حالا کافی است دو عکس استریوسکوپیک را که در دو زمان مختلف از یک قسمت آسمان برداشته شده است، با هم مقایسه کنیم. اگر در آن قسمت آسمان آستروئید وجود داشته باشد، استریوسکوپ فوراً آن را نمودار خواهد کرد، زیرا آستروئید نسبت به زمینه عمومی برجسته به نظر خواهد آمد.

با استریوسکوپ نه فقط تفاوت محل نقاط، بلکه تفاوت میزان نور آنها را نیز میتوان فهمید. این امر برای منجمین امکان مناسبی فراهم می‌آورد تا ستارگانی را که به تناوب درخشش آنها تغییر میکند و ستاره متغیر نامیده میشوند، پیدا کنند. هر گاه در دو عکس آسمان، ستاره‌ای از ستارگان با درخشش‌های مختلف افتاده باشد، استریوسکوپ فوراً این ستاره‌ای را که درخشش آن تغییر کرده، به منجم نشان میدهد.

دید با سه چشم

گمان نکنید که در اینجا چشم سوم از آنگونه اشتباهات نظیر گوش سوم است که ایوان ایگناتیویچ در حال هیجان در رمان پوشکین «دختر سروان» کرد و گفت: «او یک مشت به پوزه شما زد، شما هم یک کشیده به یک گوشش، یک کشیده به گوش دیگرش و یک کشیده به گوش سومش بزنید و راهتان را بکشید و بروید». ما واقعاً از امکان دید با سه چشم بحث میکنیم.

با سه چشم ببینیم؟ مگر میشود چشم سومی هم برای خود تهیه کرد؟

بدانید و آگاه باشید که ما همانا از دید با سه چشم بحث خواهیم کرد. علم توانائی آن را ندارد که به آدم چشم سومی بدهد، اما قادر است امکان فراهم آورد تا انسان اشیاء را طوری ببیند که آن اشیاء قاعدتاً میبایست به نظر موجود سه‌چشمی بیایند.

از آن شروع میکنیم که یک آدم محروم از یک چشم کاملا میتواند عکس‌های استریوسکوپیک را تماشا کند و عکس‌ها چنان تأثیر برجستگی در وی میبخشند که او بدون استریوسکوپیک تصورش را هم نمیتوانست بکند. برای این کار باید عکس‌هائی را که برای چشم راست و چشم چپ در نظر گرفته شده است، روی پرده آورد و بسرعت آنها را با یکدیگر عوض کرد. آنچه را آدم دو چشم در یک زمان با هر دوچشم می‌بیند، آدم یک‌چشم به تناوب و تغییر سریع خواهد دید. اما نتیجه‌ای که

حاصل میشود، یکی است، تأثیرات بصری که بسرعت عوض شوند، درست مانند تأثیرات همزمان به شکل یک تصویر واحد در هم می‌آمیزند*.

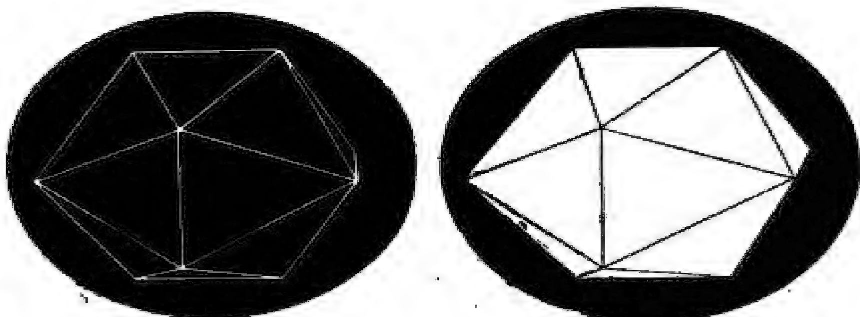
حال که چنین است، آدم دوچشم میتواند در آن واحد با یک چشم دو عکس را ببیند که بسرعت با یکدیگر عوض میشوند و با چشم دیگر عکس دیگری را که از نقطه سومی برداشته شده است.

بعبارت دیگر، یک چیز واحد را از سه نقطهٔ مختلف عکس‌برداری میکنند و این سه نقطه حالت سه چشم را دارند. بعد دو عکس از این سه عکس در حالیکه بسرعت با یکدیگر عوض میشوند، روی یک چشم بیننده اثر می‌بخشند. وقتی دو عکس بسرعت با یکدیگر عوض میشوند، تأثیراتی که می‌بخشند، بشکل یک تصویر برجسته مرکب در هم می آمیزد. اثر سومی از چشم دیگر که عکس سوم را نگاه میکند، به این تصویر افزوده میشود.

در این شرایط با اینکه فقط با دو چشم نگاه میکنیم، تأثیری که در ما به‌وجود می‌آید، عیناً مانند تأثیر نگاه کردن با سه چشم است. در اینصورت برجستگی به حد اعلای خود میرسد.

درخشندگی چیست؟

عکس‌های استریوسکوپیک که در شکل ۱۳۳ مشاهده میکنید، دو چندسطحی است، یکی سیاه در زمینهٔ سفید و دیگری سفید در زمینهٔ سیاه. اگر این عکس‌ها را با استریوسکوپ تماشا کنیم، چه خواهیم دید؟ تصور آنچه خواهیم دید بسیار دشوار است. ببینیم هلم‌هلتس چه میگوید:



شکل ۱۳۳ — درخشندگی استریوسکوپیک. وقتی این دو شکل را با استریوسکوپ نگاه کنیم، به هم درمی‌آمیزند و بصورت بلور درخشانی در زمینه سیاه به نظر می‌آیند.

---

* شاید علت برجستگی تعجب‌آوری که گاهی در فیلم‌های سینما مشاهده میشود، علاوه بر عللی که قبلا به آن اشاره شد، تا حدودی تأثیری باشد که اکنون در باره آن بحث میکنیم. اگر دوربین فیلم‌برداری ضمن کار بطور یکنواخت تکان میخورده است (که اغلب در نتیجه کار مکانیسمی که فیلم را به حرکت در می‌آورد، تکان هم میخورد)، در آنصورت عکس‌ها کاملا همانند برداشته نشده‌اند. وقتی این عکس‌ها روی پرده بسرعت با یکدیگر عوض شوند، در شعور ما به شکل تصویر برجسته‌ای در هم می‌آمیزند.

« وقتی یک سطح معین در یک عکس استریوسکوپیک، سفید و در عکس دیگر سیاه تصویر شده است، تصویر واحد این دو عکس، حتی اگر روی کاغذ کاملا مات کشیده شده باشند، درخشان به نظر می‌آید. طرح‌های استریوسکوپیک مدل بلورها که اینطور کشیده شده باشند، چنان تأثیر می‌بخشند که گوئی مدل بلور از گرافیت درخشان ساخته شده است. درخشش آب و برگ‌ها و امثال آنها در عکس‌های استریوسکوپیک، با بکار بردن این اسلوب، از درخشش مدل بلور هم بهتر به نظر می‌آید».

در کتاب قدیمی سچنوف فیزیولوژیست بزرگ روسی بنام «فیزیولوژی اعضای حس. بینائی» (چاپ ۱۸۶۷)، کتابی که از لحاظ مضمون هنوز بهیچوجه کهنه نشده است، توضیح بسیار خوب این پدیده را میتوانیم بخوانیم. آن توضیح بقرار زیر است:

« در آزمایش‌های در هم آمیختن مصنوعی استریوسکوپیک سطح هائی که بطور مختلف روشن یا بطور مختلف رنگ شده‌اند، شرایط واقعی دیدن اجسام درخشان تکرار میشود. در واقع تفاوت یک سطح مات با یک سطح درخشان (صیقلی) چیست؟ سطح مات نور را بطور پراکنده به همه طرف منعکس میکند، به این دلیل از هر سو به آن نگاه کنیم با روشنائی یکسانی به نظر می‌آید. اما سطح صیقلی نور را فقط به طرف معینی منعکس میکند، به این دلیل ممکن است حتی مواردی پیش بیاید که به یک چشم شخصی که به چنین سطحی نگاه میکند، مقدار زیادی اشعهٔ منعکس‌شده در سطح برسد و به چشم دیگر تقریبا هیچ شعاعی نرسد (این شرایط درست با مورد درهم آمیختن استریوسکوپیک سطح‌های سفید و سیاه مطابقت دارد). اما موارد تقسیم نابرابر نور منعکس‌شده در سطح‌های صیقلی درخشان میان دو چشم بیننده (یعنی مواردی که به یک چشم بیننده بیش از چشم دیگر نور میرسد)، ظاهراً اجتناب‌ناپذیر است.

به این ترتیب، خوانندگان ملاحظه میکنند که درخشندگی استریوسکوپیک دلیلی است بر اثبات این فکر که در پدیدهٔ درهم آمیختن تصویرها بصورت یک تصویر برجسته، تجربه و عادت نقش درجه یک را دارد. وقتی دایره‌های دید متفاوت باشد همینکه به دستگاه بینائی که با تجارب فراوان پرورش یافته است، امکان داده شود این تفاوت را به موردی از موارد دید واقعی مربوط کند، فوراً مبارزه میان دایره‌های دید جای خود را به تصور راسخ و استوار میدهد».

به این ترتیب، علت (یا اقلا یکی از علل) اینکه درخشندگی می‌بینیم، روشنی غیر یکسان تصاویری ست که در چشم راست و چشم چپمان منعکس میشوند. تصور نمیرود که ما میتوانستیم بدون ریوسکوپ این علت را کشف کنیم.

دید هنگام حرکت سریع

قبلا گفتیم که وقتی تصاویر مختلف یک جسم واحد به سرعت با یکدیگر عوض شوند و در چشم درهم آمیزند، تأثیر بصری برجستگی به وجود می‌آورند.

حالا چنین سؤالی پیش می‌آید: آیا فقط وقتی که تصاویر متحرک را با چشم ساکن می‌بینیم این پدیده صورت میگیرد یا وقتی چشمی که بسرعت حرکت میکند تصاویر ساکن را، می‌بیند نیز عین این پدیده صورت خواهد گرفت؟

از قرار معلوم، همانطور که میبایست انتظار برود، در این مورد نیز تأثیر استریوسکوپیک روی خواهد داد. لابد بسیاری از خوانندگان توجه کرده‌اند که فیلم‌های سینما که از قطار در حال حرکت سریع برداشته شده، چنان برجسته به نظر می‌آیند که از آنچه با استریوسکوپ می‌بینیم، هیچ دست کمی ندارند.

اگر به تأثیرات بصری که هنگام حرکت سریع در واگن یا در اتوبیل در ما به وجود می‌آید، بدقت توجه کنیم، میتوانیم به چشم خود این پدیده را ببینیم و به صحت آن یقین حاصل کنیم. احساس برجستگی و فرورفتگی به میزان قابل ملاحظه‌ای زیاد میشود و از آن ۴۵۰ متری که برای چشم غیر متحرک مرز دید استریوسکوپیک میباشد، به هر سو گسترش می‌یابد.

آیا علت آن تأثیر مطبوعی که تماشای مناظر از پنجره واگن در حال حرکت سریع در ما به وجود می‌آورد، در همین واقعیت نهفته نیست؟ مرز دید دور میشود و ما عظمت مناظر طبیعت را که به هر سو گسترش یافته است، با وضوح تمام تمیز میدهیم. وقتی با اتوبیلی که به سرعت حرکت میکند از میان جنگل میگذریم — به همان دلیل — جنگل را مانند بینندهٔ غیر متحرک یکپارچه و در هم آمیخته نمی‌بینیم، بلکه هر درخت، هر شاخه و هر برگ کاملا مشخص و مجزا از یکدیگر به نظر می‌آید. وقتی در راههای کوهستانی با اتوبیل به سرعت حرکت میکنیم، تمام عوارض زمین را مستقیماً به چشم خود می‌بینیم و تمام زیبائی‌های پست و بلندی‌های کوهها و دره‌ها را کاملا حس میکنیم. اشخاص یک چشم که از اینگونه دیدن مناظر محرومند، نیز میتوانند تمام آنچه را که توضیح داده شد، ببینند و لذت ببرند. قبلا متذکر شدیم که، بر خلاف آنچه معمولاً خیال میکنند، برای برجسته دیدن بهیچوجه ضرورتی ندارد که تصویرهای مختلف را حتماً با دو چشم و در زمان واحد ببینیم. اگر تصویرهای مختلف با سرعت کافی با یکدیگر عوض شوند و در شبکیهٔ چشم در هم بیامیزند، با یک چشم نیز دید استریوسکوپیک صورت خواهد گرفت*.

آزمایش آنچه گفته شد، کاری است بسیار آسان. برای این کار فقط لازم است که وقتی در واگن قطار راه‌آهن یا در اتوبوس نشسته‌اید، به آنچه می‌بینید قدری دقت کنید. در این حال شاید پدیده حیرت‌آور دیگری را نیز مشاهده کنید که صد سال پیش «دووه» در باره آن نوشته است (چیزی حقیقتاً نو است، که کاملا از یاد رفته است !)، و آن پدیده اینست: اجسامی که از نزدیک جلو پنجره بسرعت پدیدار و ناپدید میشوند، کوچکتر از آنچه واقعاً هستند، به نظر می‌آیند. علت این پدیده که با دید استریوسکوپیک چندان وجه مشترکی ندارد، اینستکه وقتی چیزهائی را می‌بینیم که با سرعت زیاد حرکت میکنند، در باره نزدیکی آنها به غلط قضاوت میکنیم. گوئی بی‌اختیار چنین قضاوت میکنیم: اگر جسم به ما بسیار نزدیک است، پس باید در واقع کوچکتر از معمول باشد تا به همان اندازه به نظر ما بیاید که همیشه می‌آید. این توضیح را هلم‌هولتس داده است.

---

* اگر قطار از پیچ منحنی راه‌آهن بگذرد و چیزهائی که از آنها فیلم برداشته میشود، در جهت شعاع منحنی قرار داشته باشند، آن فیلم برجسته به نظر خواهد آمد. علت برجسته به نظر آمدن قابل ملاحظه اینگونه فیلم‌ها نیز تعویض سریع تصویرها و درهم آمیختن آنها است. فیلمبرداران این «تأثیر راه آهن» را بخوبی میدانند.

از پشت عینک رنگی

اگر با عینکی که شیشه‌های آن سرخ است به خطوطی که به رنگ سرخ در زمینه سفید نوشته شده، نگاه کنید، فقط یک زمینه سرخ یکدست خواهید دید. هیچ کلمه‌ای از خطوط را نخواهید دید، زیرا حروف سرخ با زمینه سرخ در هم می‌آمیزند. اگر با همان عینک به خطوطی که به رنگ آبی در زمینه سفید نوشته شده، نگاه کنید، با وضوح تمام حروف سیاهی در زمینه سرخ خواهید دید. به آسانی می‌توان فهمید چرا حروف سیاه هستند، زیرا اشعهٔ آبی از شیشهٔ سرخ نمیگذرند (علت سرخ بودن شیشه نیز همان است که فقط اشعهٔ سرخ از آن میگذرند). بنا بر این شما باید به جای حروف آبی عدم نور، یعنی حروف سیاه ببینید.

تأثیر تصویرهائی که به طرز ویژه‌ای چاپ شده و آناگلیف نام دارد، بر اساس همین خصوصیت شیشه‌های رنگی میباشد. تأثیری که آناگلیف‌ها می‌بخشند، عین تأثیر عکس‌های استریوسکوپیک میباشد. در آناگلیف‌ها دو تصویری که مربوط به چشم راست و چشم چپ است روی یکدیگر چاپ میشوند، اما به دو رنگ مختلف: یکی آبی و دیگری سرخ.

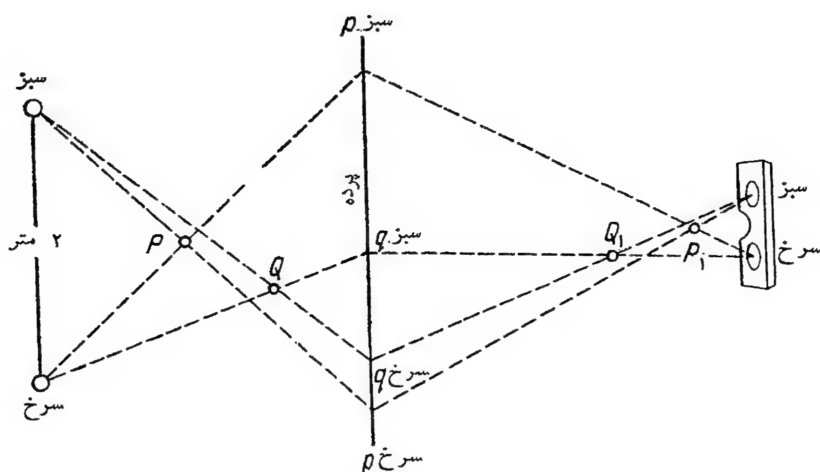
برای آنکه بجای دو تصویر رنگی یک تصویر سیاه اما برجسته ببینیم، کافی است که با عینک رنگی به آنها نگاه کنیم. چشم راست از پشت شیشهٔ سرخ فقط نقش آبی، یعنی همان نقشی را می‌بیند که با چشم راست وفق دارد (ضمناً نه رنگی بلکه سیاه). چشم چپ نیز از پشت شیشهٔ آبی فقط نقش سرخ را که با آن وفق دارد، می‌بیند. هر چشم فقط یک تصویر می‌بیند، آنهم فقط تصویری که با آن چشم وفق دارد. شرایطی که در اینجا وجود دارد، برای ما با شرایط استریوسکوپ همانند است، بنا بر این نتیجه حاصله نیز باید یکی باشد، یعنی تصویر برجسته به نظر بیاید.

«معجزات سایه‌ها»

تأثیر «معجزات سایه‌هائی» که گاهی در سینما نشان میدادند، بر اصلی متکی است که هم اکنون بررسی کردیم.

«معجزات سایه‌ها» عبارت از آنستکه سایه‌های اجسام متحرک را روی پرده می‌اندازند و این سایه‌ها بصورت اشکال برجسته‌ای که از پرده بیرون می‌آیند و جلو میروند، به نظر تماشاچیان (که عینک دو رنگ زده‌اند) می‌رسد. در اینجا در نتیجه تأثیر استریوسکوپی دورنگ است که اشکال اینگونه به نظر می‌آیند. جسمی را که میخواهند سایه آن را نشان دهند، در فاصلهٔ میان پرده و دو منبع نور — سرخ و سبز — که پهلوی یکدیگر قرار دارند، جا میدهند. دو سایهٔ رنگی — سرخ و سبز — که قسمتی از آنها روی یکدیگر قرار میگیرد، روی پرده می‌افتد. تماشاچیان با عینک‌هائی که شیشه‌های آن مسطح و یکی سرخ و دیگری سبز است، سایه‌ها را تماشا میکنند.

هم اکنون گفتیم که در این شرایط سایه‌ها بصورت اشکال برجسته‌ای که از سطح پرده بیرون می‌آیند و جلو میروند، به نظر تماشاچیان میرسند. تصاویری که بوسیله «معجزات سایه‌ها» به نظر می‌آیند، فوق‌العاده جالب و خنده‌دار هستند. گاهی تصور میرود که جسمی را که پرتاپ کرده‌اند، مستقیماً به طرف تماشاچیان می‌آید، یا مثلا عنکبوت کوه‌پیکری در هوا به سوی تماشاچیان گام برمیدارد و تماشاچیان بی‌اختیار فریاد میزنند و سرشان را بر میگردانند. دستگاه نمایش «معجزات سایه‌ها»



شکل ۱۳٤ — راز «معجزات سایه‌ها».

فوق‌العاده ساده است و با یک نگاه به شکل ۱۳٤ میتوان به راز آن پی برد. در شکل ۱۳٤ سمت چپ لامپ سبز و لامپ سرخ نشان داده شده است. P و Q اجسامی هستند که در فاصلهٔ میان لامپ‌ها و پرده قرار گرفته‌اند. p سبز و q سرخ و نیز p سرخ و q سبز سایه‌های رنگی این اجسام روی پرده هستند. P_1 و Q_1 جاهائی است که تماشاچی از پشت شیشه‌های رنگی سبز و سرخ (سمت راست) آنها را می‌بیند. وقتی عنکبوت واهی در روی پرده از Q به P میرود، چنین به نظر تماشاچی می‌آید که عنکبوت از Q_1 به P_1 حرکت میکند.

بطور کلی وقتی جسمی در پشت پرده به منبع نور نزدیک و در نتیجه سایه آن روی پرده بزرگ شود، در تماشاچی تصوری به وجود می‌آید که جسم از پرده به طرف او حرکت میکند.

تغییر غیر منتظرهٔ رنگ‌ها

قبل از هر چیز بجا و بموقع است که از یک رشته آزمایش‌هائی که در «غرفهٔ علم برای سرگرمی» در پارک مرکزی فرهنگ و استراحت لنینگراد صورت میگیرد و تماشاچیان بسیار از آن خوششان می‌آید، چند کلمه‌ای بگوئیم. یکی از اطاق‌های عمارت را مانند اطاق پذیرائی مبله کرده‌اند. روکش مبل‌ها نارنجی سیر است، روی میز یک رومیزی سبز گسترده و تنگی پر از شربت سرخ رنگ و مقداری گل گذاشته‌اند. قفسه کتاب پر از کتاب است و نوشته‌های روی جای شیرازه‌بندی کتاب‌ها هر یک به رنگی. ابتدا همهٔ اینها را در پرتو چراغ برق سفید معمولی نشان میدهند. بعد با یک چرخش کلید برق، نور سفید معمولی به نور سرخ تبدیل میشود و با این عمل در اطاق پذیرائی تغییرات غیر منتظره‌ای روی میدهد: مبل صورتی رنگ میشود، رومیزی سبز به رومیزی نیلوفری تیره تبدیل میگردد،

شربت سرخ مانند آب زلال بیرنگ میشود، گل‌ها چنان تغییر رنگ میدهند که گوئی اصلا آن گل‌های سابق نیستند، قسمتی از نوشته‌های روی کتاب‌ها ناپدید میشوند و اثری از آنها باقی نمیماند...

با یک چرخش دیکر کلید برق، نور سبز رنگی بر اطاق پرتو می‌افکند و اطاق طوری عوض میشود که نمیتوان آن را شناخت.

آموزش نیوتن در باره رنگ اجسام تمام این دگرگونی‌های جالب را بخوبی برای ما روشن میکند. اساس آموزش نیوتن اینستکه رنگ سطح اجسام همیشه نه رنگ اشعه‌ای است که جسم بخود جذب میکند، بلکه رنگ اشعه‌ای است که می‌پراکند و منعکس میکند و به چشم بیننده میرساند. تیندال فیزیسین معروف انگلیسی و هم‌میهن نیوتن این حکم را به ترتیب زیر فرموله میکند:

«وقتی جسمی را با نور سفید روشن میکنیم، رنگ سرخ در اثر جذب اشعهٔ سبز ظاهر میشود و رنگ سبز در اثر جذب اشعهٔ سرخ، ضمنا بقیه رنگ‌ها در هر دو حالت ظاهر میشوند. این بدان معنی است که رنگ اجسام از طریق معکوس حاصل میشود، بعبارت دیگر رنگ نتیجهٔ کاهش است، نه نتیجه افزایش».

بنا بر این، رومیزی سبز در پرتو نور سفید به آن دلیل سبز است که میتواند بطور عمده اشعه سبز و اشعهٔ نزدیک به آن را پخش کند. سایر اشعه را به میزان خیلی کم پخش میکند و قسمت اعظم آنها را جذب میکند. اگر به طرف این رومیزی مخلوطی از اشعهٔ قرمز و بنقش روانه کنیم، رومیزی تقریباً فقط اشعهٔ بنقش را پخش خواهد کرد و قسمت اعظم اشعهٔ سرخ را جذب خواهد کرد و در چشم تأثیر رنگ نیلوفری سیر به وجود خواهد آمد.

علت کلیهٔ تغییرات رنگ‌ها در اطاق پذیرائی نیز تقریباً همین است. فقط بی‌رنگ شدن شربت سرخ معما به نظر می‌آید. چرا شربت سرخ در پرتو نور سرخ بی‌رنگ به نظر می‌آید؟ کلید حل این معما در اینستکه تنگ شربت سرخ رنگ روی دستمال سفیدی است که روی رومیزی سبز پهن شده است. اگر تنگ را از روی دستمال برداریم، فوراً دیده میشود که مایع درون تنگ در پرتو نور سرخ بی‌رنگ نیست، بلکه سرخ است. شربت فقط در مجاورت دستمال، بی‌رنگ به نظر می‌آید، و دستمال در زیر اشعهٔ سرخ به رنگ سرخ در می‌آید، اما ما برحسب عادت و به علت فرق نمایان رنگ دستمال با رنگ رومیزی تیره، باز هم خیال میکنیم که دستمال سفید است. و چون رنگ شربت داخل تنگ با رنگ سفید زیر تنگ یکی است، ما بی‌اراده شربت را هم سفید میشماریم و شربت سرخ در نظر ما دیگر شربت نیست، بلکه آب بی‌رنگ است.

آزمایش‌های نظیر آزمایش‌های بالا را میتوان در شرایط ساده‌تر نیز انجام داد. کافی است چند تکه شیشهٔ رنگی تهیه کنید و از پشت آنها به چیزهائی که در اطرافتان هست، نظر بیاندازید. (تأثیر اینگونه آزمایش‌ها در کتاب «آیا فیزیک میدانید»؟ اثر اینجانب توصیف شده است).

بلندی کتاب

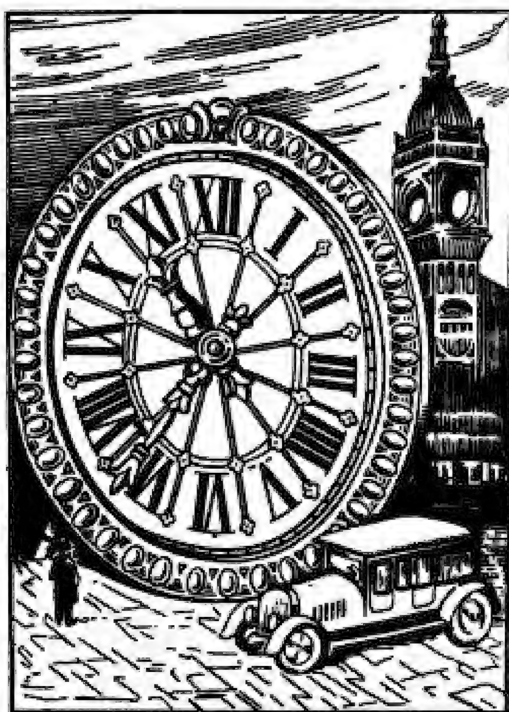
مهمانی در خانه شما است و کتابی در دست دارد. از مهمان بپرسید که اگر کتاب را بطور قائم پهلوی دیوار روی کف اطاق قرار بدهید، تا چه نقطه‌ای خواهد رسید و پیشنهاد کنید که آن نقطه را با انگشت نشان بدهد. وقتی مهمان این کار را کرد کتاب را بطور قائم پهلوی دیوار روی کف اطاق بگذارید. معلوم خواهد شد بلندی کتاب تقریباً نصف آنست که مهمان شما نشان داده است!

اگر مهمان برای نشان دادن آن نقطه روی دیوار، خودش خم نشود، بلکه فقط بگوید که در کجای دیوار باید علامت گذاشت، این آزمایش خیلی بهتر انجام خواهد گرفت. البته این آزمایش را نه فقط با کتاب، بلکه با چراغ، کلاه و کلیه چیزهائی که ما معمولا عادت کرده‌ایم از نزدیک سطح چشممان ببینیم، میتوان انجام داد.

علت این خطای باصره آنستکه وقتی ما در طول اجسام به آنها نگاه میکنیم، همه آنها کوتاه‌تر به نظر می‌آیند.

اندازه ساعت مناره

همان اشتباهی را که مهمان شما در تخمین بلندی کتاب کرد، ما همیشه در تخمین اندازه چیزهائی هم که در ارتفاع زیاد قرار دارند، میکنیم. بخصوص اشتباه در تخمین اندازه ساعت مناره بسیار بارز است و جنبهٔ عمومی دارد. البته ما میدانیم که اینگونه ساعت ها بسیار بزرگند، با وجود این، تصوری که از بزرگی آنها داریم، بمراتب کوچکتر از اندازه واقعی این ساعت‌ها است. در شکل ۱۳۰ صفحهٔ ساعت معروف منارهٔ کلیسای وستمینستر لندن را مشاهده میکنید، که پائین آورده شده است.



شکل ۱۳۰ — اندازه ساعت مناره کلیسای وستمینستر.

آدم‌ها در مقایسه با آن مانند مورچه به نظر می‌آیند. وقتی به منارهٔ ساعت که از دور دیده میشود، نگاه میکنید، نمیتوانید باور کنید که اندازهٔ سوراخ‌هائی که در مناره می‌بینید، مساوی اندازهٔ این ساعت است.

سیاه و سفید

از دور به شکل ۱۳۶ نگاه کنید و بگوئید: در فاصلهٔ خالی میان دایرهٔ پائینی و یکی از دو دایرهٔ بالائی چند دایره ممکن است جابگیرد — چهار دایره یا پنج دایره؟ به احتمال نزدیک به یقین جواب خواهید داد که چهار دایره به راحتی جا میگیرد، اما برای دایرهٔ پنجم جا کافی نیست.

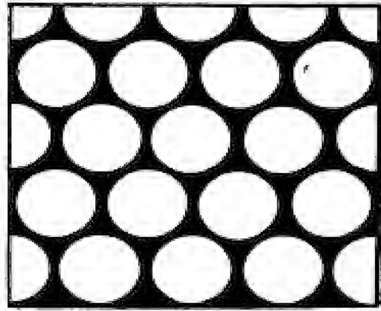
وقتی به شما بگویند که در این فاصله فقط سه دایره جا میگیرد و بس، باور نخواهید کرد. یک صفحه کاغذ یا پرگار را بردارید و اندازه بگیرید تا یقین حاصل کنید که جواب شما درست نیست.

این خطای عجیب حس باصره که در نتیجهٔ آن مسافات سیاه کوچکتر از مسافات سفید مساوی آنها به نظر ما می‌آیند، «ایرادیاسیون» یا «پرتو افکنی» نام دارد و به عدم کمال چشم ما مربوط است. چشم ما، بعنوان یک دستگاه بصری، با اصول دقیق اپتیک مطابقت کامل ندارد. محیط منکسر کنندهٔ چشم طوری است که محیط اطراف تصویری که در شبکیهٔ چشم منعکس میشود، مانند محیط اطراف تصویر روی شیشهٔ مات دوربین عکاسی که خوب تنظیم شده باشد، دقیق و مشخص نیست. در اثر پدیده‌ای که انحراف محیطی نام دارد، به دور هر یک از محیط‌های روشن حاشیهٔ روشنی بوجود می‌آید که اندازه آن را روی شبکیهٔ چشم زیادتر میکند. در نتیجه همیشه مسافات روشن زیادتر از مسافات سیاه مساوی آنها به نظر ما می‌آیند.

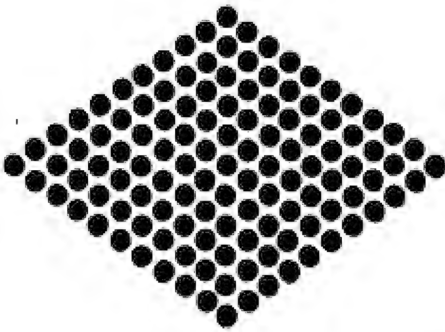
گوته شاعر شهیر آلمانی که درمطالعهٔ پدیده‌های طبیعی تیزبینی خاصی داشت، اما در بررسی مسائل تئوریک فیزیک اغلب احتیاط را از کف میداد، در کتاب خود بنام «آموزش رنگ‌ها» در بارهٔ این پدیده می‌نویسد:

«اجسام تیره از اجسام روشن مساوی خود کوچکتر به نظر می‌آیند. اگر در آن واحد به دایرهٔ سفیدی در زمینهٔ سیاه و به دایرهٔ سیاهی، با همان شعاع، در زمینهٔ سفید نگاه کنیم، دایرهٔ سیاه تقریباً به اندازه $\frac{1}{5}$ کوچکتر از دایرهٔ سفید به نظر می‌آید. اگر دایرهٔ سیاه به همین نسبت بزرگتر از دایرهٔ سفید باشد، این دو دایره مساوی به نظر خواهند آمد. داس ماه نو طوری به نظر می‌آید که گوئی شعاع دایره مربوطه آن از شعاع قسمت تاریک ماه، که گاهی در این شرایط دیده میشود، («رنگ خاکستری» ماه — پرلمان) بزرگتر است. آدم با لباس تیره باریک‌تر از وقتی که لباس روشن پوشیده است، به نظر می‌آید. منبع نوری که از پشت لبهٔ چیزی دیده میشود، چنان به نظر می‌آید که گوئی در آن لبه بریدگی بوجود آورده است. خط‌کشی که شعلهٔ شمع از پشت آن پدیدار میشود، در آن نقطه فرو رفته به نظر می‌آید. خورشید هنگام طلوع و غروب گوئی در افق گودالی بوجود می‌آورد».

شکل ۱۳۶ — فاصله میان دایره پائینی و هر یک از دو دایره بالائی بیش از فاصله میان دو نقطه خارجی دایره‌های بالائی به نظر می‌آید، اما درواقع مساوی هستند.



شکل ۱۳۷ — این دایره‌ها از فاصله معینی شش گوشه به نظر می‌آیند.



شکل ۱۳۸ — دایره‌های سیاه از دور شش گوشه به نظر می‌آیند.

در این مشاهدات تمام آنچه گفته شد، درست است، مگر آنکه دایرهٔ سفید از دایرهٔ سیاه مساوی خود همیشه به یک نسبت بزرگتر به نظر می‌آید. میزان بزرگتر به نظر آمدن دایره بسته به فاصلهٔ میان چشم و دایره است. هم اکنون خواهید فهمید که چرا چنین است.

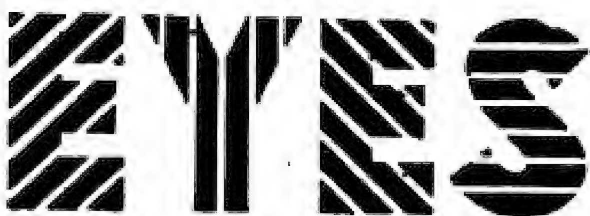
شکل ۱۳۶ را از چشمتان دور کنید، خطای حس باصره باز هم شدیدتر و عجیب‌تر خواهد شد. علت این امر آنستکه عرض حاشیهٔ اضافی همیشه ثابت میماند. به این دلیل اگر این حاشیه در فاصلهٔ کم، عرض منطقهٔ روشن را مثلا ٪۱۰ زیاد میکند، در فاصلهٔ زیاد که خود تصویر کوچک میشود، همان حاشیهٔ اضافی دیگر ٪۱۰ نخواهد بود، بلکه مثلا ٪۳۰ یا حتی ٪۵۰ عرض تصویر خواهد بود. علت تغییر عجیب شکل ۱۳۷ را نیز معمولا در همین خصوصیت چشم ما میدانند. وقتی از نزدیک به این شکل نگاه میکنید، تعداد زیادی دایرهٔ سفید در زمینه سیاه می‌بینید. اما کتاب را در جای دوری بگذارید و از فاصلهٔ ۲ — ۳ قدمی، چنانچه چشمتان خیلی تیزبین است از فاصلهٔ ۶ — ۷ قدمی، به شکل نگاه کنید. منظرهٔ شکل بطور محسوسی عوض میشود و شما بجای آن دایره‌ها، شش گوشه‌های سفیدی شبیه به خانه‌های لانهٔ زنبور خواهید دید.

اما باید گفت که دایره‌های سیاه هم در زمینهٔ سفید از دور شش گوشه به نظر می‌آیند (شکل ۱۳۸)، گرچه در این مورد خطای حس باصره دایره‌ها را بزرگ نمیکند، بلکه کوچک میکند. من از وقتی متوجه این مطلب شده‌ام دیگر علت این خطای حس باصره را در ارتباط با پرتوافکنی توضیح دادن، بحد کافی مرا قانع نمیسازد. بطور کلی توضیحاتی را که در حال حاضر در مورد خطای حس باصره میدهند، نمیتوان قطعی شمرد. برای بیشتر خطاهای باصره هنوز اصلا توضیحی وجود ندارد*.

کدام حرف سیاه‌تر است؟

شکل ۱۳۹ امکان میدهد که از یک نقص دیگر چشم ما، یعنی «آستیگماتیسم» اطلاع حاصل کنید. اگر با یک چشم به آن نگاه کنید، لابد همهٔ حروف بیک اندازه سیاه به نظرتان نخواهد آمد. توجه کنید که کدام حرف از این چهار حرف سیاه‌تر است و بعد شکل را به پهلو برگردانید. خواهید دید

* توضیح مفصل‌تر این پدیده را میتوانید در کتاب کوچک اینجانب «خطاهای حس باصره» — آلبوم خطاهای حس باصره — مطالعه کنید.



شکل ۱۳۹ — به این نوشته با یک چشم نگاه کنید. یکی از حرف‌ها سیاه‌تر از دیگران به نظرتان خواهد آمد.

که تغییر غیر منتظره‌ای روی میدهد: سیاه‌ترین حرف خاکستری رنگ میشود و حالا حرف دیگری سیاه‌تر از سایر حروف به نظر می‌آید.

اما در واقع همهٔ حروف بیک اندازه سیاه هستند، فقط در جهات مختلف هاشور زده شده‌اند. اگر ساختمان چشم ما مانند عدسی‌های شیشه‌ای گرانبها بی‌عیب و نقص بود، جهت هاشورها در میزان سیاهی حروف تأثیری نداشت. اما چشم ما اشعه را در جهات مختلف کاملا یکسان منکسر نمیکند، به این دلیل ما نمیتوانیم خطوط قائم و افقی و مایل را در آن واحد بیک اندازه واضح و روشن ببینیم.

بندرت آدمی را میتوان یافت که چشمش از این نقص بری باشد، و در برخی اشخاص آستیگماتیسم بقدری شدید است که به میزان قابل ملاحظه‌ای مانع دید میشود و از تیزبینی میکاهد. این اشخاص برای آنکه واضح و روشن ببینند، مجبورند عینک مخصوص بزنند.

چشم نواقص دیگری نیز دارد که استادان عینک‌ساز میتوانند با ساختن وسائل بصری خوب آنها را برطرف کنند. هلم‌هلتس فیزیسین معروف در بارهٔ این نواقص میگوید: «اگر یکی از سازندگان ابزارهای بصری به سرش میزد که به من ابزاری بفروشد که دارای اینگونه نواقص باشد، من به خود حق میدادم در باره بی‌دقتی کار او شدیدترین سخنان را بگویم و با اعتراض ابزارش را پس بدهم».

اما علاوه بر این خطاهای باصره که از نواقص معلوم چشم سرچشمه میگیرند، چشم ما به یک رشته خطاهائی دچار میشود، که علل بکلی دیگری دارند.

تصاویر زنده

تصاویری هست که نه فقط مستقیماً به ما نگاه میکنند، بلکه وقتی ما جای خود را تغییر میدهیم، چشمشان را به آن طرف بر میگردانند و با چشم ما را تعقیب میکنند. لابد همه اینگونه تصاویر را دیده‌اند. این خصوصیت جالب و عجیب اینگونه تصاویر از قدیم‌الایام مورد توجه بوده و برای بسیاری از اشخاص جنبهٔ معما داشته و اشخاص عصبی را واقعاً میترسانده است. گوگول در اثر «تصویر» یکی از این موارد را به بهترین شکل توصیف کرده است:

«چشمها به وی دوخته شده بودند و تصور میرفت که جز به او به هیچ چیز نمیخواهند بنگرند... نگاه تصویر از کنار هر چه در اطراف بود، میگذشت و مستقیماً به او می‌افتاد و تا مغز استخوانش نفوذ می‌کرد...»

11٩

افسانه‌های خرافاتی فراوانی با این خصوصیت اسرارآمیز چشم تصاویر ارتباط دارد (مثلا در همان اثر «تصویر» گوگول)، اما کلید حل این معما نیز در خطای حس باصره است و بس.

علت این پدیده اسرارآمیز آنستکه در اینگونه تصاویر مردمک چشم در وسط چشم قرار دارد. وقتی یک نفر مستقیماً به ما نگاه میکند، ما چشم‌های او را عیناً همینطور می‌بینیم. اما وقتی به طرف دیگر نگاه میکند، به نظر ما می‌آید که مردمک چشم و تمام عنبیهٔ چشمش در وسط چشم قرار ندارد، بلکه قدری به طرف یکی از گوشه‌های چشم رفته است. وقتی ما از روبروی تصویر کنار میرویم، البته جای مردمک چشم عوض نمیشود و در همان وسط چشم باقی میماند. اما چون تمام صورت را هم نسبت به خود مانند سابق می‌بینیم، طبیعی است که به نظرمان می‌آید گوئی تصویر سرش را به طرف ما برگردانده است و با چشم ما را تعقیب میکند.



شکل ۱۴۰ — تصویر اسرارآمیز.

علت سایر خصوصیات حیرت‌آور برخی از تابلوها نیز در همین است، مثلا: ما از جلو تابلو به هر طرف برویم، اسبی که در تابلو است مستقیماً به سوی ما می‌تازد، آدمی که در تابلو است، ما را نشان میدهد، دستش را که به جلو دراز کرده است، مستقیماً به طرف ما متوجه است و غیره. شکل ۱۴۰ نمونهٔ کوچکی از اینگونه تابلوها و تصویرها است. از این نوع تصویرها اغلب برای تبلیغات یا رکلام استفاده میکنند.

اگر به علت اینگونه خطاهای حس باصره خوب بیاندیشیم، معلوم میشود که نه فقط در اینجا هیچ چیز حیرت‌آوری نیست، بلکه اگر این تصاویر چنین خصوصیتی نمیداشتند، جای بسی تعجب بود.

سایر انواع خطاهای حس باصره

سنجاق‌هائی را که در شکل ۱۴۱ ملاحظه میکنید، در نظر اول هیچ جنبه خاصی ندارند. اما کتاب را تا سطح چشمتان بالا بیاورید، یک چشمتان را ببندید و به این خطوط طوری نگاه کنید که شعاع دید از امتداد آنها بگذرد. برای این کار باید چشم در نقطهٔ تقاطع امتداد این خطوط مستقیم قرار داشته باشد. وقتی اینطور نگاه کنید، به نظرتان می‌آید که سنجاق‌ها روی کاغذ کشیده نشده، بلکه بطور عمودی در آن فرو رفته‌اند. سرتان را کمی به یک طرف ببرید، خواهید دید که گوئی سنجاق‌ها نیز به همان طرف کج شده‌اند.

علت این خطای حس باصره را باید در قوانین علم مناظر و مرایا جست. خط‌ها طوری کشیده شده‌اند که اگر سنجاق‌ها را بطور عمودی در کاغذ فرو کرده و به نحوی که در بالا گفته شد، به آنها نگاه میکردیم، میبایست دیده بشوند.

به اینکه ما تحت تأثیر خطاهای حس باصره قرار میگیریم، بهیچوجه نباید فقط مانند نقص حس باصره نگریست. این واقعیت جنبه‌های بسیار سودمند نیز دارد که اغلب آنها را از یاد میبرند. یکی از آن جنبه‌ها اینستکه اگر ما تحت تأثیر هیچ خطای باصره‌ای قرار نمیگرفتیم، نقاشی وجود نداشت و ما از تمام لذت‌های تماشای هنرهای زیبا محروم بودیم. نقاشان و هنرمندان از این نقص حس باصره به مقیاس وسیعی استفاده میکنند.

اولر دانشمند نابغهٔ قرن ۱۸ میلادی در اثر مشهور خود «نامه‌هائی در باره مواد فیزیکی مختلف *» نوشته است:

«تمام هنر نقاشی بر اساس این خطای حس باصره بنا شده است. اگر ما عادت میکردیم که در بارهٔ اشیاء مانند خود واقعیت قضاوت کنیم، این هنر (یعنی نقاشی) اصلا نمیتوانست وجود داشته باشد، و درست مثل آن بود که کور باشیم. نقاش تمام هنر و مهارت خویش را برای مخلوط کردن رنگ‌ها بیهوده به کار میبرد و ما میگفتیم: روی این صفحه لکهٔ سرخی است و آنجا یک لکهٔ آبی، اینجا لکهٔ سیاهی است و آنجا چند خط سفید رنگ، همه چیز در یک سطح قرار گرفته و تفاوت میان فاصله‌ها اصلا دیده نمیشود. هیچ جسمی را نمیشد تصویر کرد و هر چه روی تابلو کشیده بودند، مانند نوشته روی کاغذ به نظر ما می‌آید... آیا ما که از لذتی که هر روز این هنر مطبوع و سودمند به ما می‌بخشد، بی‌بهره بودیم، با تمام کمال خویش باز هم سزاوار رحم و دلسوزی نبودیم؟»

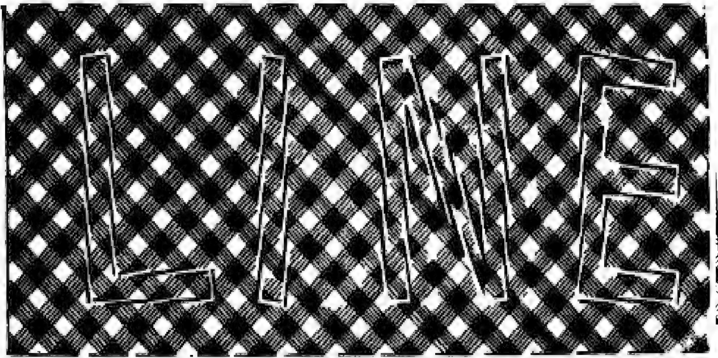
شکل ۱۴۱ — یک چشمتان را ببندید و با چشم دیگر از نقطه تقاطع امتداد این خطوط به شکل نگاه کنید. تعدادی سنجاق خواهید دید که گوئی در کاغذ فرو کرده‌اند. شکل را کمی به این سو و آن سو حرکت بدهید، به نظرتان می‌آید که سنجاق‌ها تکان میخورند.

خطاهای حس باصره بسیار زیاد است و میتوان یک آلبوم تمام را از نمونه‌های آن پر کرد. ** بسیاری از آنها را همهٔ مردم میدانند و از برخی دیگر کم اطلاع دارند. چند مورد جالب از خطاهای حس باصره را که مردم کم از آنها اطلاع دارند، در اینجا برای نمونه می‌آورم. خطاهای حس باصره در مورد خطوطی که در زمینه چهارخانه کشیده شده است (شکل ۱۴۲ و ۱۴۳) فوق‌العاده جالب است. چشم بهیچوجه نمیتواند قبول کند که حروف شکل ۱۴۲ راست قرار گرفته‌اند. قبول اینکه خطوطی را که در شکل ۱۴۳ می‌بینیم، خطوط حلزونی نیستند، از این هم دشوارتر است. برای قبول این مطلب باید مستقیماً به آزمایش متوسل شد: نوک مداد را روی یکی از خطوطی که حلزونی به نظر می‌آید بگذارید و حرکت بدهید، می‌بینید که روی محیط دایره حرکت میکند و نه

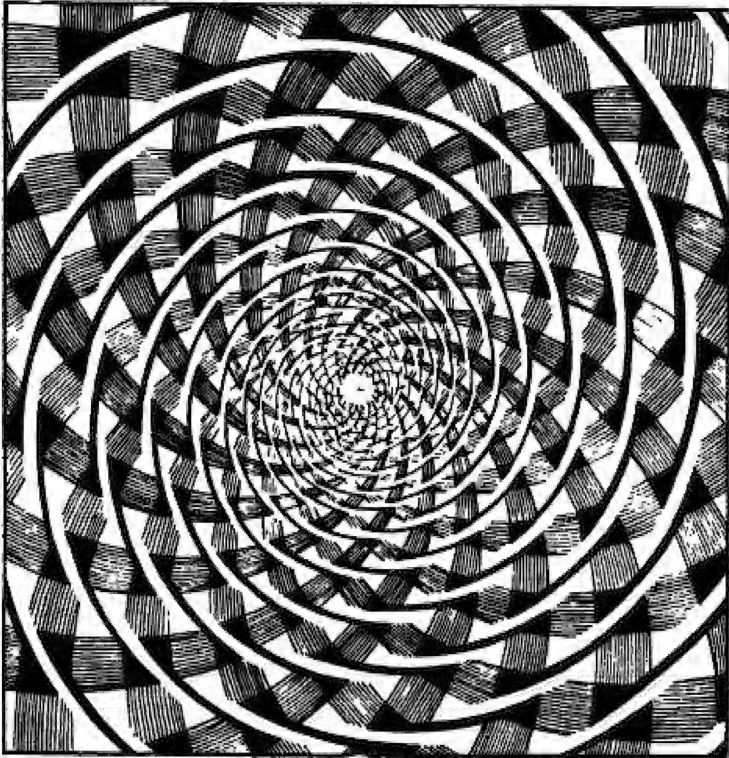
---

* این اثر از طرف استپان روموفسکی به روسی ترجمه و در سال ۱۷۷۴ در سنت‌پتربورگ به چاپ رسیده است.

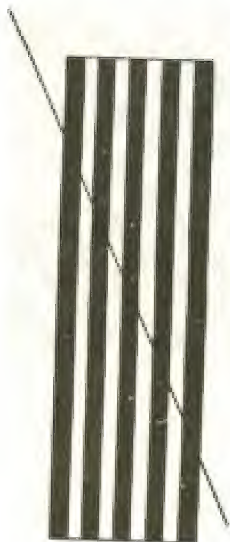
** در کتاب «خطاهای حس باصره» که در بالا به آن اشاره شد، بیش از ۶۰ نمونه خطاهای حس باصره گردآوری شده است.

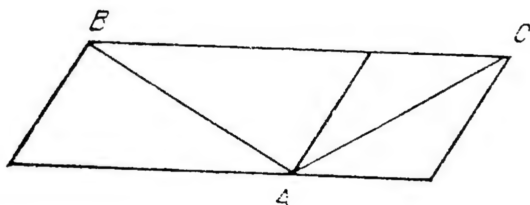


شکل ۱۴۲ — حروف راست قرار دارند.



شکل ۱۴۳ — **خطوط منحنی این شکل حلزونی به نظر می‌آیند، اما در واقع دایره هستند. یک چوب کبریت نوک‌تیز را روی یکی از خطوط حرکت بدهید، یقین خواهید کرد که دایره است.**





شکل ۱۴۴ — با اینکه خط AB و AC مساوی هستند، خط AB درازتر از AC به نظر می‌آید.

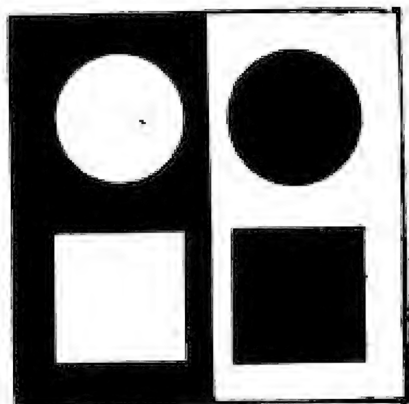
شکل ۱۴۵ — خط مایلی که راههای سیاه و سفید قائم‌را قطع کرده، منکسر به نظر می‌آید.

به مرکز نزدیک میشود و نه از آن دور. در شکل ۱۴۴ نیز عیناً همینطور، فقط به کمک پرگار میتوان یقین حاصل کرد که خط مستقیم AC از خط AB کوتاه‌تر نیست. خطاهای حس باصره که در شکل‌های ۱۴۵,۱۴۶,۱۴۷, ۱۴۸ روی میدهد، در زیرنویس هر یک از شکل‌ها شرح داده شده است. حادثهٔ جالب و خنده‌دار زیر نشان میدهد که در شکل ۱۴۷ خطای حس باصره تا چه حد شدید است: ناشر یکی از چاپ‌های قبلی این کتاب وقتی نمونهٔ کلیشه شکل ۱۴۷ را از کارگاه کلیشه‌سازی گرفت، خیال کرد که کلیشه آنطور که باید و شاید تهیه نشده است و داشت آن را به کارگاه برمیگرداند تا لکه‌های خاکستری رنگ محل تقاطع خطوط سفید را پاک کنند، که من تصادفاً وارد اطاق شدم و برایش توضیح دادم که مطلب از چه قرار است.

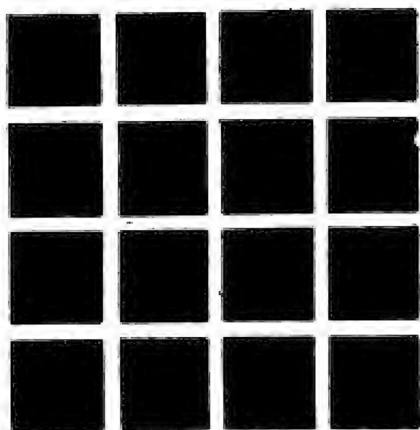
اشخاص نزدیک‌بین چگونه می‌بینند؟

همه میدانند که اشخاص نزدیک‌بین بی‌عینک بد می‌بینند، اما کسانی که دارای چشم عادی هستند، از اینکه اشخاص نزدیک‌بین چه می‌بینند و اشیاء در نظر آنها چگونه مجسم می‌شود، تصور بسیار مبهمی دارند. ضمناً اشخاص نزدیک‌بین بسیارند و اطلاع از اینکه جهان در نظر آنان چگونه مجسم میشود، بی فایده نیست.

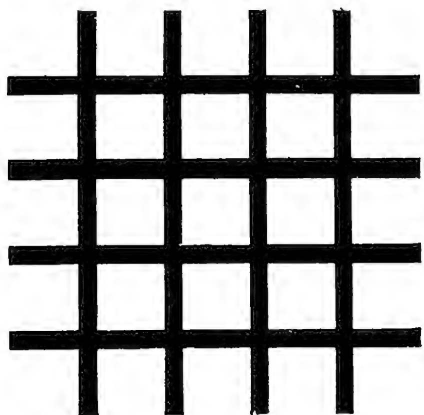
قبل از هر چیز، اشخاص نزدیک‌بین (البته بی عینک) هرگز خطوط اطراف اشیاء را مشخص و روشن نمی‌بینند و تمام اجسام برای آنها شکل تار و مبهمی دارند. کسانی که چشم معمولی دارند وقتی به درختی نگاه میکنند، شاخه و برگ‌هائی را که در زمینهٔ آسمان بطور روشن و مشخص نمایانند، از



شکل ۱۴۶ — این دو دایره سفید و سیاه و نیز دو مربع سفید و سیاه باهم مساوی هستند.



شکل ۱۴۷ — در نقاط تقاطع راههای سفید این شکل لکه‌های مربع خاکستری رنگ پدیدار و ناپدید میگردند، گوئی شعله‌ور و خاموش میشوند. اما در واقع این راهها در تمام طولشان کاملا سفید هستند. روی مربع‌های سیاه دو طرف یکی از راههای سفید کاغذ بگذارید تا یقین حاصل کنید که هیچ لکه‌ای وجود ندارد. این خطای حس باصره نتیجه تباین رنگ‌های سیاه و سفید است.



شکل ۱۴۸ — در نقاط تقاطع راههای سیاه لکه‌های خاکستری‌رنگ پدیدار میشوند.

یکدیگر تمیز میدهند. اما اشخاص نزدیک‌بین فقط جسم سبز بی‌شکلی می‌بینند که از اشکال ناشخص و مبهم تشکیل یافته است. اجزاء خرد و کوچک برای آنها ناپدید میشود.

صورت آدم‌ها به نظر اشخاص نزدیک‌بین جوان‌تر و جذاب‌تر می‌آید، تا به نظر کسانی که چشم معمولی دارند، اشخاص نزدیک‌بین چین‌ها و سایر نواقص و عیوب کوچک صورت را نمی‌بینند، رنگ سرخ زندهٔ پوست (چه طبیعی و چه مصنوعی) به نظر آنها گلگون و لطیف می‌آید. وقتی برخی از آشنایانمان در تخمین سن اشخاص در حدود ۲۰ سال اشتباه میکنند، از ساده‌لوحی آنها حیران میشویم، از سلیقهٔ عجیب آنها در ارزیابی زیبائی تعجب میکنیم، وقتی زل زل به صورت ما نگاه میکنند و گوئی اصلا نمیخواهند ما را بشناسند، آنها را به عدم رعایت نزاکت و احترام متهم میکنیم... اما باید دانست که در بسیاری از موارد علت این پیش‌آمدها فقط و فقط نزدیک‌بینی است.

دلویگ شاعر معاصر پوشکین و دوست وی در خاطرات خود میگوید:

«در دبیرستان به من اجازه نمیدادند عینک بزنم، در عوض تمام زنها بسیار زیبا به نظرم می‌آمدند. دبیرستان را به پایان رساندم بقدری متأسف شدم که حد و اندازه نداشت».

وقتی یک نفر نزدیک‌بین (بی‌عینک) با شما صحبت میکند، اصلا صورت شما را، یا در هر حال آن چیزی را که شما گمان میکنید، نمی‌بیند. در برابر او تیافهٔ تار و مبهمی قرار دارد، و هیچ جای تعجب نیست که اگر بعد از یک ساعت دوباره شما را ببیند، نشناسد. نزدیک‌بین‌ها در اغلب موارد اشخاص را بیشتر از صدایشان می‌شناسند تا از شکل ظاهری آنها. کمال و ورزیدگی حس سامعه نقصان حس باصرهٔ آنان را جبران میکند.

بررسی آنکه شب جهان و آنچه در آن است چگونه به نظر نزدیک‌بینان می‌آید، نیز جالب است. در روشنائی شب تمام چیزهای درخشان — فانوس‌ها و چراغ‌ها و پنجره‌های روشن و امثال آن — برای نزدیک‌بینان به میزان زیادی بزرگ میشوند و منظره را به مجموعهٔ درهم‌برهمی از لکه‌های درخشان بی‌شکل و شبح‌های تیره و تار بدل میکنند. نزدیک‌بینان ردیف‌های راست و مستقیم چراغ‌های خیابان را به صورت دو سه لکه درخشان عظیم می‌بینند که به نظر آنها تمام خیابان را سد کرده است. اتومبیلی را که به سوی آنها می‌آید، تشخیص نمیدهند، بجای آن فقط دو هالهٔ درخشان (چراغ‌های اتومبیل) و به دنبال آن تودهٔ تیره و تاری می‌بینند.

حتی منظرهٔ آسمان شب نیز برای اشخاص نزدیک‌بین با منظره‌ای که چشم معمولی می‌بیند، تفاوت بسیار دارد. نزدیک‌بینان فقط ستارگان قدر اول و دوم و سوم، و احیاناً قدر چهارم را می‌بینند. بنا بر این برای آنها بجای چندین هزار ستاره فقط چند صد ستاره قابل رؤیت است. اما در عوض این چند ستارهٔ معدود مانند گلوله‌های بزرگ نورانی به نظر آنها می‌آیند. ماه تمام برای نزدیک‌بینان بسیار نزدیک و بزرگ به نظر می‌آید و هلال در نظر آنان شکل افسانوی و مرکبی دارد.

البته علت تمام این دگربینی‌ها و بزرگ به نظر آمدن اجسام، در ساختمان چشم اشخاص نزدیک‌بین نهفته است. کاسهٔ چشم اشخاص نزدیک‌بین زیاد گود است، بقدری گود است که وقتی اشعهٔ اجسام خارجی در قسمت‌های مختلف چشم منسکر میشوند، روی خود شبکیهٔ چشم تلاقی نمیکنند، بلکه قدری جلوتر از آن تلاقی میکنند. به شبکیهٔ چشم که در ته کاسهٔ چشم قرار دارد، اشعه‌ای میرسند که در حال پخش شدن هستند و در نتیجه تصویری تار و غیر مشخص بوجود می‌آورند.

فصل دهم

صوت و شنوائی

چگونه باید پژواک را جستجو کرد؟

هیچ کسی وی را ندیده در جهان،
لیک هر کس صوت آن بشنیده است،
بی زبان اوراست فریاد و فغان
بی‌تن و بی‌جسم حی و زنده است.
نکراسوف

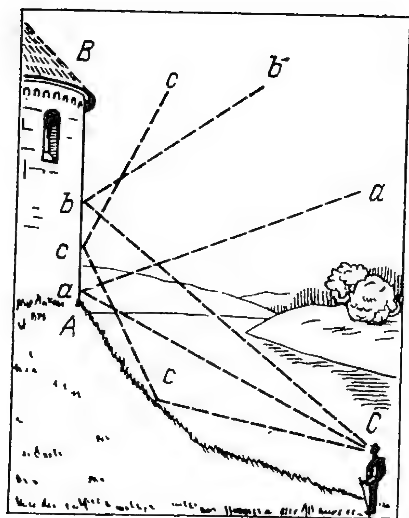
در بین حکایات مارک تواین فکاهی‌نویس امریکائی حکایتی هست که از بلاهائی که به سر یک نفر کلکسیونر آمده است، حکایت میکند. این کلکسیونر به سرش زده بود برای خود کلکسیونی جمع آوری کند. خیال میکنید چه کلکسیونی؟ کلکسیون پژواک! این آدم عجیب با پشتکار خستگی ناپذیری کلیهٔ قطعه‌زمین هائی را که در آن صوت چند بار منعکس و تکرار میشد و یا پژواک‌های عجیب و غریب دیگری به وجود می‌آمد، خریداری میکرد.

«قبل از همه در ایالت «جورجیا» پژواکی خرید که چهار بار تکرار میشد، بعد در «مریلند» پژواکی که شش بار تکرار میشد، بعد در «من» پژواکی که سیزده بار تکرار میشد و پس از آن پژواکی در «تنسی» که دوازده بار تکرار میشد. این پژواک را به بهای کمی به دست آورده بود، زیرا احتیاج به تعمیر داشت: قسمتی از صخره ریخته بود. کلکسیونر خیال میکرد که میتوان آن را تعمیر کرد. اما معماری که این کار را بر عهده گرفت، تا آن وقت هرگز پژواک نساخته بود و به همین دلیل آن را بکلی خراب کرد، بطوری که بعد از تعمیر فقط برای پناهگاه کر و لال‌ها مناسب بود...»

البته این شوخی است، اما در نقاط مختلف کرهٔ زمین، بویژه در نواحی کوهستانی، جاهائی هست که صوت در آن چندین بار تکرار میشود و پژواک‌های مکرر بسیار جالبی بوجود می‌آورد، و برخی از آنها از قدیم‌الایام معروفیت جهانی کسب کرده‌اند.

برخی از پژواک‌های معروف را نام می‌بریم. در قصر وودستوک در انگلستان پژواک ۱۷ هجا را بطور مشخص تکرار میکند. در ویرانه‌های قصر درنبورگ در نزدیک هالبرشتاد (آلمان) پژواک ۲۷ هجائی تکرار میشد، اما از وقتی که یکی از دیوارهای آن منفجر شد، پژواک هم از بین رفت. در نقطهٔ معینی میان صخره‌هائی که به شکل دایره در نزدیک آدرسباخ (چکوسلواکی) واقعند، ۷ هجا سه

بار تکرار میشود، اما در چند قدمی این نقطه صدای تیراندازی هم هیچ پژواکی بوجود نمی‌آورد. در قصری در نزدیکی میلان (این قصر اکنون وجود ندارد) پژواک بسیار زیاد تکرار میشده است: صدای تیری که از یکی از پنجره‌های قسمت فرعی عمارت شلیک میکردند، ۴۰ تا ۵۰ بار و کلمه‌ای که به صدای رسا بر زبان می‌آوردند، در حدود ۳۰ بار تکرار میشد*.



شکل ۱۴۹ — پژواک وجود ندارد.

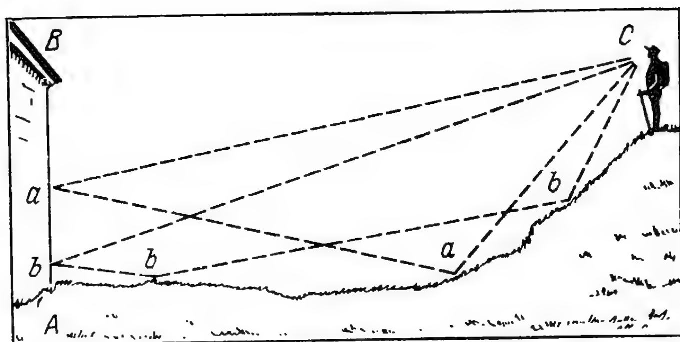
پیدا کردن جائی که پژواک در آن حتی یک بار بطور وضوح شنیده شود، چندان کار ساده‌ای نیست. اما در اتحاد شوروی یافتن اینگونه جاها نسبتاً آسان است. دشت‌های زیادی وجود دارد که از هر سو جنگل آنها را احاطه کرده است، چمنزارهای بی‌درخت در داخل جنگل‌ها نیز فراوان است. کافی است در اینگونه چمنزارها بصدای بلند فریاد بزنیم تا پژواکی کم و بیش واضح به گوشمان برسد.

پژواک در کوهستان از پژواک در دشت گوناگون‌تر است، اما امکان برخورد با آن نیز بمراتب کمتر است. شنیدن پژواک در کوهستان از شنیدن آن در دشتی که دور تا دورش را جنگل فرا گرفته، دشوارتر است.

هم اکنون خواهید فهمید چرا چنین است. پژواک چیزی نیست جز برگشت امواج صوتی که به مانعی خورده و منعکس شده باشد. همانطور که در نور زاویهٔ تابش اشعه با زاویهٔ انعکاس مساوی است، در صوت نیز زاویهٔ برخورد امواج صوتی با زاویهٔ انعکاس مساوی میباشد.

---

* پژواک، شرایط بوجود آوردن و موارد استفاده از آن از قدیم‌الایام بر معماران ایرانی نیز معلوم بوده است. در بسیاری از مساجد ایران پژواک‌های کم و بیش واضح شنیده میشود. بهترین نمونهٔ آن مسجد شاه اصفهان است. در زیر گنبد بزرگ این بنای تاریخی (مسجد شاه دو گنبد دارد) کلمات و اصوات چند بار با وضوح تمام تکرار میشوند. در میان ابنیهٔ تاریخی اصفهان، که هر یک در نوع خود شاهکار صنعت معماری است، «عالی قاپو» از نظر پژواک و استفاده از آن در جهان بیمانند و یا لااقل کم‌نظیر است. در سر تا سر دیوارهای برخی از تالارهای این قصر حفره‌هائی به اشکال هندسی مختلف تعبیه و با ظرافت گچ‌کاری شده است. به قولی که جملگی برآنند و در برخی از کتب تاریخ نیز آمده است، خنیاگران در این تالارها خنیاگری میکرده و میرفته‌اند. پس از آن آواز خوانندگان و آهنگ موسیقی آنان تا مدت مدیدی چندین بار با وضوح تمام تکرار میشده است. این تالارها با همان حفره‌ها اکنون نیز هستند، اما گچ‌کاری حفره‌ها ریخته است و دیگر پژواک بوجود نمی‌آورند. (مترجم)



شکل ۱۵۰ — پژواک کاملا واضح است.

حالا در نظرتان مجسم کنید که در دامنهٔ کوهی ایستاده‌اید (شکل ۱۴۹) و مانعی که باید صوت را منعکس کند، بالاتر از شما، مثلا در AB، واقع است. به آسانی میتوان دید که امواج صوتی که در امتداد خطوط Ca و Cb و Cc پخش میشوند، پس از انعکاس به گوش شما نمیرسند، بلکه در فضا در جهت خطوط aa، bb و cc پراکنده میشوند. اما اگر در سطح مانع یا حتی کمی بالاتر از آن ایستاده باشید (شکل ۱۵۰) مسأله بکلی عوض میشود. صدائی که در جهت Ca و Cb پائین میرود، پس از یک یا دو بار منعکس شدن در سطح زمین، در جهت خطوط CaaC یا CbbC به سوی شما برمیگردد. مقعر بودن زمین در فاصلهٔ میان دو نقطه، تأثیری همانند تأثیر آئینهٔ مقعر دارد و سبب میشود که پژواک واضح تر به گوش برسد. اما اگر، برعکس، زمین میان دو نقطه C و B محدب باشد، پژواک ضعیف خواهد بود و حتی ممکن است اصلا به گوش نرسد. چنین زمینی امواج صوتی را پراکنده میکند، همانطور که آئینه محدب اشعهٔ نور را پراکنده میکند.

جستجوی پژواک در زمین ناهموار مستلزم ورزیگی و کارآزمودگی معینی است. حتی پس از پیدا کردن جای مناسب باید بلد بود پژواک را بوجود آورد. قبل از هر چیز نباید زیاد نزدیک به مانع ایستاد. صوت باید راهی بحد کافی طولانی بپیماید، در غیر اینصورت پژواک خیلی زود برمیگردد و با خود صوت در می‌آمیزد. میدانیم که صوت در هر ثانیه ۳۴۰ متر می‌پیماید، بنا بر این به آسانی میتوان حساب کرد که اگر در فاصلهٔ ۸۵ متر از مانع بایستیم، درست نیم ثانیه پس از پیدایش صوت باید پژواک را بشنویم.

گرچه هر صوتی در فضای خالی پژواکی پدید می‌آورد، اما پژواک همهٔ اصوات به یک اندازه واضح و مشخص نیست.

گر ز کرناها برون آید صدا
یا ددی غرش کند در بیشه‌ای،
گر بغرد رعد اندر آسمان
یا بخواند مهوشی در گوشه‌ای،
جمله را پژواک یکسان نیست، نیست.

هر چه صوت زیرتر و مقطع تر باشد، پژواک آن واضح‌تر و مشخص‌تر خواهد بود. با کف زدن بهتر از هر صدائی میتوان پژواک بوجود آورد. صدای آدم، بویژهٔ صدای مردها، برای این منظور چندان مناسب نیست. پژواک آوای زیر زنان و کودکان از پژواک صوت بم مردان واضح‌تر و مشخص تر به گوش میرسد.

صوت بجای ریسمان اندازه‌گیری

با دانستن سرعت پخش صوت در هوا گاهی میتوان از آن برای اندازه‌گیری فاصله تا نقطه‌ای که قابل دسترسی نیست، استفاده کرد. ژول ورن در رمان «مسافرت به مرکز زمین» چنین موردی را توصیف کرده است. دو نفر مسافر — پروفسور و برادرزاده‌اش — ضمن سیاحت در زیر زمین یکدیگر را گم کردند. وقتی بالاخره موفق شدند از دور باهم صحبت کنند، مذاکرات زیر میان آنها رد و بدل شد:

«من داد زدم، عموجان! (برادرزاده نقل میکند).

پس از مدتی شنیدم:

— چی، پسرجان؟

— قبل از هر چیز بگوئید، چقدر از هم دور هستیم.

— دانستن این مطلب کار دشواری نیست.

— ثانیه‌شمارتان سالم است؟

— آره.

— ثانیه‌شمار را بردارید. نام مرا صدا کنید و بمحض اینکه شروع به صحبت کردید، بدقت ببینید چه ثانیه‌ای است. همینکه صدای شما به من رسید، من نام خودم را تکرار میکنم. وقتی صدای من به شما رسید باز هم ببینید چه ثانیه‌ای است.

— خوب. آنوقت نصف مدت میان صدا و جواب مساوی مدتی است که برای رسیدن صدای من به تو لازم است. حاضری؟

— بله.

— دقت کن! اسمت را صدا میکنم.

من گوشم را به دیوار چسباندم. همینکه کلمهٔ «آکسل» (نام حکایت‌کننده است) به گوشم رسید، فوراً آن را تکرار کردم و منتظر شدم.

عمویم گفت:

— چهل ثانیه، بنا بر این صدای تو در ۲۰ ثانیه به من رسیده است. چون صوت در هر ثانیه یک سوم کیلومتر را می‌پیماید، پس معلوم میشود که مسافت تقریباً هفت کیلومتر است».

اگر آنچه‌را در این قسمت گفته شد خوب فهمیده باشید، خودتان به آسانی میتوانید مسأله زیر را حل کنید:

لکوموتیوی از دور سوت زد. من بخار سفید رنگی دیدم و یک ثانیه و نیم بعد صدائی را که در اثر خروج این بخار بوجود آمده بود شنیدم. فاصلهٔ میان من و لکوموتیو چقدر بوده است؟

آئینه‌های صوتی

کناره جنگل، دیوار بلند، عمارت، کوه و بطور کلی هر سانعی که صوت در آن منعکس شود و پژواک بوجود آورد، چیزی نیست جز آئینه برای صوت. این سوانع صوت را درست همانطور منعکس میکنند که آئینه مسطح نور را منعکس میکند.

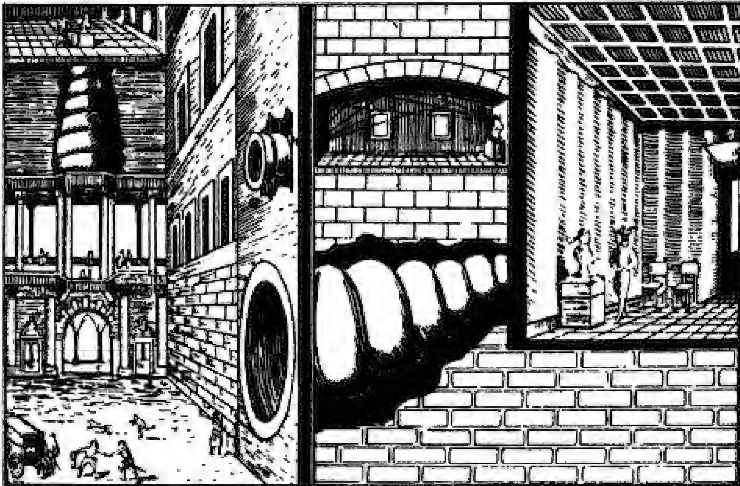
آئینه‌های صوتی نه فقط مسطح، بلکه غیر مسطح نیز هستند. آئینهٔ صوتی مقعر مانند بازتابنده عمل میکند، یعنی «اشعهٔ صوتی» را در کانون خود متمرکز میسازد.



شکل ۱۵۱ — آئینه‌های صوتیِ مقعر.

با دو بشقاب توگود میتوان آزمایش جالبی از این نوع کرد. یک بشقاب توگود را روی میز بگذارید و ساعت جیبی را در چند سانتیمتری کف آن نگاه دارید. یک بشقاب دیگر را، بطوری که در شکل ۱۵۱ نشان داده شده، جلو گوشتان بگیرید. اگر محل و وضع قرار گرفتن ساعت و گوش و بشقاب‌ها درست انتخاب شده باشد (برای این کار باید چند بار آزمایش کرد) شما صدای ساعت را طوری میشنوید که گوئی صدا از بشقابی برمیخیزد که جلو گوشتان گرفته‌اید. اگر چشمتان را ببندید، خطای حس سامعه شدیدتر میشود، آنوقت از روی صدائی که میشنوید اصلاً نمیتوانید تعیین کنید که ساعت در کدام دستتان است، در دست راست یا چپ.

معماران قصرهای قرون وسطائی اغلب چنین عجایب صوتی میساختند، مثلا مجسمهٔ نیم‌تنه‌ای را در کانون آئینه صوتی مقعر یا در انتهای لوله مکالمه‌ای قرار میدادند که با مهارت در دیوار پنهان



شکل ۱۵۲ — عجایب صوتی در یک قصر قدیمی — مجسمه‌هائی که حرف میزنند. (از کتاب آفاناسی کرخر، سال ۱۵۶۰)

شده بود از شکل ۱۵۲ که از روی یک کتاب قدیمی قرن ۱۶ میلادی چاپ شده است، میتوانید نمونه‌ای از این وسائل زیرکانه را مشاهده کنید. اصواتی که از راه لولهٔ مکالمه از خارج داخل عمارت میشوند، از سقف گنبدی شکل تالار منعکس میگردند و به لب‌های مجسمه میرسند. یا لوله‌های مکالمهٔ عظیمی که در دیوارها کار گذاشته شده‌اند، صداها و اصوات مختلف را از حیاط به مجسمه‌هائی که کنار دیوار یکی از تالارها قرار دارند، میرسانند، و امثال آن. کسانی که به چنین تالاری می‌آیند، تصور میکنند مجسمه‌های مرمر آهسته حرف میزنند یا آواز میخوانند یا صداهای دیگری از دهانشان بیرون می‌آید.

اصوات در تالار تآتر

کسانی که زیاد به تآتر یا تالارهای کنسرت میروند، بخوبی میدانند که تالارها از نقطه نظر شنیده شدن اصوات باهم تفاوت دارند، بعضی از تالارها اصوات را خوب پخش میکنند و برخی دیگر بد پخش میکنند. در بعضی از تالارها صدای هنرپیشگان و آهنگ وسائل موسیقی از دور هم کاملا واضح به گوش میرسد و در برخی دیگر از نزدیک هم بد و غیر واضح شنیده میشود. علت این پدیده در کتاب «امواج صوتی و به کار بردن آنها *» تألیف وود فیزیسین امریکائی بسیار خوب تشریح شده است.

« هر صوتی که در داخل بنائی بوجود آید، پس از قطع صوت در منبع صدا، باز هم مدت نسبتاً زیادی طنین می‌اندازد. این صوت در نتیجهٔ چند بار انعکاس چند بار به دور بنا می‌گردد، در این ضمن اصوات دیگر بلند میشوند و شنونده اغلب قادر نیست آنها را به ترتیب لازم بشنود و درک کند. مثلا اگر صوت ۳ ثانیه به طول بیانجامد و گوینده با سرعت سه هجا در ثانیه حرف بزند، امواج صوتی مربوط به ۹ هجا، همه باهم در داخل بنا حرکت خواهند کرد و چنان سروصدا و همهمهٔ در هم برهمی بوجود خواهند آورد که شنونده نخواهد توانست حرف سخنران را بفهمد.

سخنرانانی که در چنین شرایطی سخنرانی میکنند، باید بسیار شمرده صحبت کنند و زیاد داد نکشند. اما سخنرانان معمولا، درست برعکس، میکوشند بلند حرف بزنند و در نتیجه فقط سروصدا و همهمه را زیادتر میکنند».

تا چندی پیش بنای تآتری که اصوات در آن خوب پخش شود، هنوز یک سعادت تصادفی به شمار می‌رفت. اکنون راههای مبارزهٔ موفقانه با این به طول انجامیدن نا مطلوب اصوات را (در اصطلاح «انعکاس صوت» نام دارد) که مانع خوب شنیدن میشود، یافته‌اند. این کتاب جای آن نیست که داخل جزئیاتی بشویم که فقط برای معماران جالب است. فقط یاد آور میشویم که راه اصلی مبارزه با بد پخش شدن صوت ساختن سقف و دیوارهائی است که اصوات اضافی را جذب کنند. بهترین جاذب اصوات پنجرهٔ باز است (همانطور که بهترین جاذب نور سوراخ میباشد). حتی یک متر مربع پنجره باز را بعنوان واحد اندازه‌گیری جذب صوت پذیرفته‌اند. خود تماشاچیان تآتر نیز اصوات را بسیار خوب جذب میکنند، گرچه میزان جذب صوت بوسیلهٔ تماشاچیان دو بار کمتر از پنجره باز است. هر تماشاچی،

---

* ترجمه روسی این کتاب کم‌نظیر در سال ۱۹۳٤ منتشر شده است.

از این نقطه نظر، تقریباً با نیم متر مربع پنجرهٔ باز برابر است. اگر تذکر یک فیزیسین که میگوید: «شنوندگان سخن سخنران را به معنای حقیقی کلمه جذب میکنند» ، درست است، به همان اندازه نیز درست است که: تالار خالی برای سخنران به معنای غیر مجازی کلمه نامطبوع است.

اگر جذب صوت بیش از حد زیاد باشد، باز هم سبب بد شنیده شدن میشود. اولا — جذب بیش از حد اصوات را خفه میکند، ثانیاً — انعکاس صوت بحدی کم میشود که اصوات بریده به گوش میرسند و تا حدی تأثیر خشک و بی روحی می‌بخشند. به این دلیل، اگر باید از انعکاس بیش از حد طولانی اصوات اجتناب ورزید، انعکاس بیش از حد کوتاه‌مدت اصوات نیز مطلوب نیست. بهترین میزان انعکاس اصوات برای همهٔ تالارها یکسان نیست و باید هنگام طرح نقشهٔ هر تالار بطور جداگانه تعیین شود.

در تآتر چیز دیگری هم هست که از نقطه نظر فیزیک جالب است. و آن چیز جایگاه سوفلور میباشد. آیا توجه کرده‌اید که شکل جایگاه سوفلور در همهٔ تآترها یکسان است؟ علت این امر آنستکه جایگاه سوفلور نوعی اسباب فیزیکی است. سقف آن، در واقع، یک آئینه صوتی مقعر است که دو وظیفه دارد: ۱ — جلوگیری از امواج صوتی که از دهان سوفلور به سوی تماشاچیان حرکت میکنند، بعلاوه، ۲ — منعکس ساختن این امواج به طرف صحنه.

پژواک از کف دریا

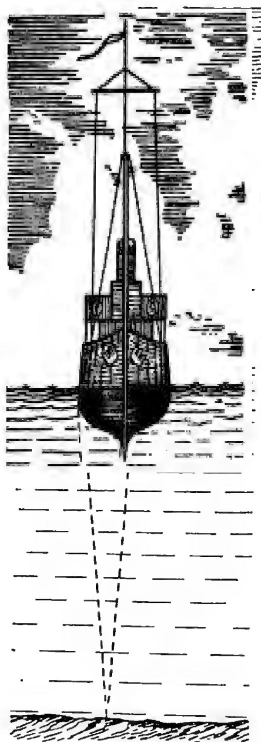
مدت‌های مدیدی انسان از پژواک هیچ سودی به دست نمی‌آورد، تا آنکه بالاخره اسبابی اختراع کردند که بوسیلهٔ آن عمق دریاها و اقیانوس ها را اندازه بگیرند. اختراع این اسباب امری تصادفی بود. در سال ۱۹۱۲ یک کشتی عظیم اقیانوس‌پیما به نام «تیتانیک» در نتیجهٔ تصادم با یک کوه یخ تقریباً با تمام سرنشینانش غرق شد. برای جلوگیری از اینگونه سانحه‌ها به فکر افتادند در هوای مه‌آلود یا شب از پژواک استفاده کنند و از وجود سد یخی در جلو کشتی مطلع شوند. این وسیله در عمل به نتیجه نرسید، اما موجب پیدایش فکر دیگری شد و آن اینکه با استفاده از انعکاس صوت در کف دریا عمق دریاها را اندازه بگیرند. معلوم شد این فکر را بخوبی میتوان در عمل به کار برد.

در شکل ۱۵۳ طرح این اسباب را ملاحظه میکنید. در کناره کشتی، نزدیک ته کشتی فشنگی قرار میدهند که وقتی آن را منفجر کنند صدای شدید و مقطعی تولید شود. امواج صوتی در آب پخش میشوند، از قشر کلفت آب میگذرند و به کف دریا میرسند، در کف دریا منعکس میشوند و بصورت پژواک برمیگردند. اسباب بسیار حساسی که آنهم در ته کشتی کار گذاشته شده است، پژواک را میگیرد. مدت زمان میان پیدایش صوت و رسیدن پژواک بوسیله ساعت دقیقی اندازه گرفته میشود. وقتی سرعت صوت در آب را بدانیم به آسانی میتوانیم فاصلهٔ تا سد منعکس کننده، یعنی تا کف دریا یا اقیانوس را حساب کنیم.

این اسباب که آن را ژرفایاب صوتی مینامند، در امر اندازه‌گیری عمق دریاها و اقیانوس ها یک انقلاب واقعی بوجود آورد. استفاده از ژرفاسنج‌های قدیمی فقط از روی کشتی بیحرکت ممکن بود و وقت زیادی می‌برد. ژرفاسنج را باید از چرخی که به دور آن پیچیده شده است خیلی آهسته (۱۵۰ متر در دقیقه) پائین داد و تقریباً با همین سرعت بالا آورد. برای اندازه گرفتن یک عمق سه‌کیلومتری با این طریق ۴۵ دقیقه وقت لازم است. اما با ژرفایاب صوتی همین عمق را میتوان در چند ثانیه از روی

کشتی‌ای که با سرعت تمام حرکت میکند، اندازه گرفت و نتایجی بمراتب مطمئن تر و دقیق تر به دست آورد. در اینگونه اندازه گیری ها اشتباه به بیش از یک چهارم متر نمیرسد (برای نیل به این منظور وقت را با دقت یک سه هزارم ثانیه حساب میکنند). اندازه گیری دقیق اعماق زیاد برای علم اقیانوس‌نگاری اهمیت فراوانی دارد، اما امکان اندازه گیری سریع و مطمئن و دقیق عمق دریا در نقاط کم‌عمق برای دریانوردی اهمیت حیاتی دارد و به تأمین بی‌خطر بودن دریانوردی کمک‌های بزرگی میکند. کشتی میتواند با استفاده از ژرفایاب صوتی بسرعت و بدون ترس به ساحل نزدیک شود.

در ژرفایاب‌های معاصر اصوات معمولی بکار نمیبرند، بلکه اصوات با فرکانس فوق‌العاده زیاد، چند میلیون در ثانیه، که ماوراء صوت نام دارد و گوش آدم نمیشنود، بکار میبرند. این اصوات را از طریق ارتعاش صفحات کوارتز (در کوهی) که پیزوکوارتز نام دارد و در میدان الکتریکی با تناوب زیاد کار گذاشته شده است، بوجود می‌آورند.



شکل ۱۵۳ — طرح کار ژرفایاب صوتی.

وزوز حشرات

چرا حشرات اغلب وزوز میکنند؟ حشرات در اکثر موارد هیچ عضو مخصوصی برای این کار ندارند. وزوزی که تنها هنگام پرواز حشرات به گوش میرسد، فقط در نتیجهٔ آنستکه حشرات هنگام پرواز بال‌هایشان را در هر ثانیه صدها بار تکان میدهند. بال حشرات صفحهٔ مرتعش است، و میدانیم که هر صفحه با ارتعاش بحد کافی زیاد (بیش از ۱۶ بار در ثانیه) صوتی با ارتفاع معین بوجود می‌آورد.

حالا می‌فهمید که چطور توانسته‌اند حساب کنند که هر یک از حشرات در هر ثانیه چند بار بال میزند. برای این کار کافی است از راه گوش ارتفاع آهنگی را که در اثر بال زدن هر حشره بوجود می‌آید، تعیین کنیم، زیرا هر آهنگی فرکانس مخصوص به خود دارد. با استفاده از «ذره‌بین زمان» (فصل اول همین کتاب) توانسته‌اند معین کنند که فرکانس بال زدن هر یک از حشرات تقریباً ثابت است. حشرات ضمن تنظیم پرواز فقط طول هر یک از حرکات («دامنه» نوسان) بال‌ها و تمایل آنها را تغییر میدهند. تعداد بال زدن‌ها در ثانیه فقط تحت تأثیر سرما زیاد میشود. به این دلیل است که آهنگ صوتی که هنگام پرواز هر یک از حشرات بوجود می‌آید، ثابت میماند و تغییر نمیکند. مثلا معین شده است که مگس (که هنگام پرواز آن آهنگ F بوجود می‌آید) در هر ثانیه ۳۵۲ و زنبور سیاه در هر ثانیه ۲۲۰ بار بال میزند. زنبور عسل که هنگام پرواز بدون بار آن آهنگ A بوجود می‌آید، در هر ثانیه ۴۴۰ بار و هنگامی که با خود عسل می‌برد (آهنگ B) در هر ثانیه ۳۳۰ بار بال میزند. سوسک‌هائی که در اثر بال زدن آنها آهنگ‌های بم‌تری بوجود می‌آید، تعداد بال زدنشان در هر ثانیه نیز کمتر است. پشه، برعکس، در هر ثانیه ۵۰۰ تا ۶۰۰ بار بال میزند. برای مقایسه یادآور میشویم که ملخ هواپیما در هر ثانیه بطور متوسط فقط ۲۵ بار دور میزند.

خطاهای حس سامعه

اگر تصور کنیم که منبع صدای خفیفی به ما نزدیک نبوده، بلکه بمراتب دورتر است، صدا نیز بمراتب بلندتر به نظر خواهد آمد. اینگونه خطاهای حس سامعه برای ما نسبتاً زیاد روی میدهد، چیزی که هست ما همیشه به آن توجه نمیکنیم.

ویلیام جیمس دانشمند امریکائی در کتاب «روانشناسی» خود مورد جالبی از خطای حس سامعه را توصیف کرده است:

«شبی تا دیروقت نشسته بودم و کتاب میخواندم. ناگهان از قسمت بالای عمارت صدای وحشتناکی به گوشم رسید، صدا قطع شد و پس از یک دقیقه از نو تکرار شد. من به سالن رفتم تا به صدا گوش بدهم، اما در سالن صدا تکرار نشد. همینکه به اطاق خودم برگشتم و شروع به خواندن کتاب کردم، باز هم همان صدای شدید وحشت‌آور بلند شد، درست مانند صدائی که قبل از طوفان شنیده میشود. این صدا از هر سو به گوش میرسید. من که فوق‌العاده نگران شده بودم، دو باره به سالن رفتم، اما باز هم صدا قطع شد.

وقتی برای بار دوم به اطاق خودم برگشتم، ناگهان متوجه شدم که سگ کوچکی که روی کف اطاق خوابیده بود، با خرخر خود این صدارا بوجود می‌آورد!..

ضمناً جالب است که پس از کشف علت واقعی صدا، هر چه کوشیدم تا آن خطای حس سامعه را از نو تجدید کنم، موفق نشدم».

لابد خوانندگان گرامی میتوانند نظایر اینگونه موارد را که برای خودشان روی داده، به یاد بیاورند. برای من بارها چنین پیش‌آمدهائی کرده است.

ملخ کجا جیرجیر میکند؟

بسیار زیاد اتفاق می‌افتد که ما نه در تخمین فاصله تا چیزی که از آن صدا بلند میشود، بلـ ـر تعیین سمتی که آن چیز قرار دارد، اشتباه میکنیم.

گوش‌های ما بخوبی تمیز میدهند که صدای تیراندازی از سمت راست یا از سمت چپ ما بلند شده است (شکل ۱۵٤). اما اگر منبع صوت درست روبرو یا درست پشت سر ما باشد، اکثر اوقات گوش‌های ما قادر به تشخیص محل منبع صوت نیستند (شکل ۱۵۵). اغلب اتفاق می‌افتد که صدای تیراندازی را که در جلو ما صورت گرفته است، طوری میشنویم که گوئی از پشت سرمان به گوش رسیده است.

در این موارد ما فقط میتوانیم — از روی شدت صوت — تیراندازی دور را از تیراندازی نزدیک تشخیص بدهیم.

آزمایش زیر به ما چیزهای زیادی می‌آموزد:

چشم‌های یک نفر را ببندید و او را در وسط اطاق بنشانید و خواهش کنید آرام بنشیند و سرش را برنگرداند. بعد دو سکه بردارید و در امتداد سطح قائمی که سر آشنای شما را از وسط دو چشم به دو قسمت میکند، بایستید و سکه‌ها را به یکدیگر بزنید. از کسی که مورد آزمایش قرار گرفته است

بخواهید تا بگوید صدای برخورد سکه‌ها از کجا به گوشش میرسد. جوابی که او میدهد واقعاً حیرت‌انگیز است. صدا از یک گوشهٔ اطاق برمیخیزد، اما او درست نقطهٔ مقابل آن را نشان میدهد!

اگر از امتداد سطح قائمی که سر را به دو قسمت مساوی تقسیم میکند کنار بروید، آنوقت اشتباه دیگر چندان بزرگ نخواهد بود. علت این امر معلوم است: در اینصورت صدا به آن گوش آشنای شما که نزدیک‌تر است کمی زودتر و بلندتر میرسد و در نتیجه او میتواند بگوید صدا از کجا می‌آید.

این آزمایش ضمناً نشان میدهد که چرا جای ملخی را که در میان علف‌ها جیرجیر میکند به سختی میتوان تمیز داد. صدای جیرجیر در طرف راست راه در دو قدمی شما بلند میشود. شما به آن طرف نگاه میکنید، اما چیزی نمی‌بینید. حالا صدا از طرف چپ می‌آید. سرتان را به آن طرف برمیگردانید، اما باز هم صدا از جای دیگر می‌آید. هر چه شما تندتر سرتان را به طرف ملخی که جیرجیر میکند برگردانید، پرش‌های این موزیسین نامرئی هم سریع تر میشود. اما در واقع ملخ از جای خود تکان نمیخورد. پرش‌های حیرت‌آور او در نتیجهٔ تصور شما و به علت خطای حس سامعه است. اشتباه شما از آنجا ناشی میشود که وقتی سرتان را برمیگردانید، سرتان



شکل ۱۵۴ — کجا تیراندازی کردند، در سمت راست یا سمت چپ؟

شکل ۱۵۵ — کجا تیراندازی کردند؟

درست طوری قرار میگیرد که سطح قائمی که سر را به دو قسمت متقارن تقسیم میکند، از نقطه‌ای که ملخ نشسته است می‌گذرد. بطوریکه میدانیم در این شرایط به آسانی میتوان در تعیین سمت صوت اشتباه کرد. ملخ در جلو شما جیرجیر میکند، اما شما در اثر خطای حس سامعه تصور میکنید که صدا از عقب می‌آید.

از اینجا یک نتیجهٔ عملی میتوان گرفت و آن اینکه: وقتی میخواهید بفهمید صدای جیر جیر ملخ و آواز فاخته و سایر اصوات دور دست از کجا به گوش میرسد، سرتان را به طرف صدا برنگردانید، بلکه به طرف عمود به آن برگردانید. ضمناً وقتی ما به قول معروف «گوش تیز میکنیم»، همین عمل را انجام میدهیم.

شگفتی‌های حس سامعه

وقتی سوخاری سفت میخوریم، صدای گوشخراشی میشنویم، در صورتیکه کسانی که پهلوی ما نشسته‌اند نیز از همان سوخاری‌ها میخورند، اما صدای آن تقریباً به گوش نمیرسد. آنها با چه حقه ای یخه خود را از شر این صدای گوشخراش خلاص میکنند؟

مطلب در آنستکه این سر و صدای شدید فقط در گوش‌های ما وجود دارد، اما گوش‌های کسانی را که پهلوی ما نشسته‌اند چندان ناراحت نمیکند. استخوان‌های جمجمه، و بطور کلی همه اجسام سفت، صوت را خیلی خوب انتقال میدهند، ضمناً صوت در محیط متراکم گاهی فوق‌العاده شدت می‌یابد. وقتی صدای شکسته شدن سوخاری از راه هوا به گوش میرسد، بسیار خفیف شنیده میشود. اما همین صدا وقتی از راه استخوان‌های سفت جمجمه به عصب سامعه میرسد، به صدای گوشخراشی تبدیل میشود.

یک آزمایش دیگر در همین رشته: دسته ساعت جیبی را میان دندان‌هایتان بگذارید و محکم بفشارید و با دو انگشت سوراخ گوش‌هایتان را سفت بگیرید. صدای تک تک ساعت بقدری شدت می‌یابد که مانند صدای ضربه‌های شدید به گوشتان میرسد.

میگویند وقتی بتهون کر شد، یک سر عصایش را به دندان میگرفت و سر دیگر آن را روی پیانو میگذاشت و به این طریق به صدای پیانو گوش میداد. اشخاص کری که گوش داخلی آنها سالم مانده است، نیز میتوانند با موزیک برقصند، زیرا آهنگ موزیک از راه کف سالن و استخوان‌های خودشان به اعصاب سامعهٔ آنها میرسد.

«معجزات وانتریلوکی» *

«معجزات» حیرت‌انگیزی که وانتریلوک‌ها می‌کنند، برهمان خصوصیات حس سامعه که در صفحات ۱۸۹ تا ۱۹۱ از آن سخن رفت، مبتنی میباشد. پروفسور هامپسون مینویسد:

---

* Ventriloquie به طرز حرف زدنی گفته میشود که تصور میرود صدا از شکم گوینده بیرون می‌آید، و به کسی که بتواند این جور حرف بزند Ventriloque (وانتریلوک) می‌گویند. (مترجم).

«اگر کسی در وسط بام خانه‌ای راه برود و حرف بزند، صدای او در داخل خانه مانند پچ پچ آهسته‌ای به گوش میرسد. هر چه آن شخص به لب بام نزدیک‌تر شود، پچ‌پچ او هم آهسته‌تر میگردد، وقتی ما در یکی از اطاق‌های خانه نشسته‌ایم، گوش ما در بارهٔ سمت صدا و فاصلهٔ کسی که حرف میزند، هیچ اطلاعی نمیتواند به ما بدهد. اما عقل ما از روی تغییر صدا نتیجه می‌گیرد که گوینده از ما دور میشود. اگر خود صدا حاکی از آن باشد که صاحب صدا روی بام حرکت میکند، ما به آسانی این ادعا را قبول میکنیم. بالاخره، اگر کسی با این شخص که گویا روی بام است، حرف بزند و جواب‌های باسعنی بشنود، آنوقت خطای حس سامعه کامل میشود.

شرایطی که وانتریلوک‌ها عمل میکنند، عیناً همینطور است. وقتی نوبت صحبت به کسی میرسد که گویا روی بام است، وانتریلوک زیر لب آهسته حرف میزند، اما وقتی نوبت به خودش میرسد با صدای بلند و صاف و شمرده صحبت میکند، تا تفاوت دو صدا را بیشتر نمایان سازد. مضمون صحبت او و جواب‌های هم‌صحبت واهی‌اش خطای حس سامعه را شدیدتر میکند. تنها نقطهٔ ضعف این فریب آنستکه صدای شخصی که گویا در خارج عمارت است، عملا از شخصی به گوش میرسد که در صحنه ایستاده است، یعنی سمت موهوم صوت با حقیقت وفق ندارد.

باید یادآور شد که اصطلاح ventriloque (کسی که گوئی صدایش از شکمش بیرون می‌آید) اصطلاح مناسبی نیست. وانتریلوک باید این حقیقت را از شنوندگان پنهان سازد که وقتی نوبت صحبت به مصاحب واهی او میرسد، در واقع خود او حرف میزند. او برای نیل به این منظور به تردستی‌های گوناگون متوسل میشود. سعی میکند با ادا و اطوارهای مختلف توجه شنوندگان را از خود منحرف سازد. به یک پهلو خم میشود و چنانکه گوئی میخواهد به دقت گوش دهد، دستش را جلو گوشش میگیرد و میکوشد به این وسیله حتی‌المقدور لب‌های خود را پنهان کند. وقتی هم که نمیتواند صورتش را پنهان کند، میکوشد هر چه ممکن است کمتر لبانش را تکان بدهد. ضمناً در اکثر موارد فقط پچ‌پچ آهسته و مبهمی لازم است و این امر برای کمتر تکان دادن لب‌ها شرایط مناسب فراهم می‌آورد. حرکت لب‌ها بقدری خوب پنهان میماند که برخی گمان میکنند صدا از شکم هنرپیشه بیرون می‌آید، اصطلاح وانتریلوک نیز از همین جا پیدا شده است.»

بدین ترتیب معجزات واهی وانتریلوکی از سر تا ته فقط مبتنی بر آنستکه ما نه قادریم بطور دقیق سمت صوت را معین کنیم و نه فاصلهٔ تا منبع صوت را تخمین بزنیم. در شرایط عادی فقط میتوانیم بطور تقریبی تخمین بزنیم. اما کافی است ما را در شرایط غیر عادی قرار دهند تا در تعیین تقریبی منبع صوت هم مرتکب بزرگترین اشتباهات بشویم. خود من وقتی شیرینکاریهای وانتریلوک‌ها را تماشا میکردم، با اینکه بخوبی میفهمیدم مطلب از چه قرار است، بهیچوجه نمیتوانستم از خطای حس سامعه جلوگیری کنم.

بنگاه نشریات «میر»
مسکو

